Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

Comité associé de l'intelligence artificielle
Associate Committee on Artificial Intelligence

Intelligence artificielle au Canada

Mémoire préparé par les membres du CAIA

Janvier 1991

Canada

CNRC n° 31790

91-05449/

Copyright 1991 par
Conseil national de recherches du Canada

Il est permis de citer de courts extraits et de reproduire des figures ou tableaux du présent rapport, à condition d'en identifier clairement la source.

Copyright 1991 by
National Research Council of Canada

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this report, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Des exemplaires supplémentaires gratuits peuvent être obtenus à l'adresse suivante :

Bureau des publications, Pièce 301
Institut de technologie de l'information
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) Canada
K1A 0R6

Additional copies are available free of charge from:

Editorial Office, Room 301
Institute for Information Technology
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario, Canada
K1A 0R6

Available in English, NRCC No. 31789.

L'intelligence artificielle au Canada

Mémoire préparé par les membres du CAIA

Janvier 1991

Table of Contents

Préface v

Section 1 : Résumé administratif 1
Résumé administratif 3

Section 2 : Introduction 17
Introduction 19

Section 3 : Regroupements, organismes de collaboration et organismes de financement 23
Institut canadien des recherches avancées 25
Centre de recherche informatique de Montréal 33
Centre de recherches sur les technologies de l'information 36
PRECARN 40
Le réseau l'Institut de robotique et d'intelligence de PRECARN 45
Programmes de soutien du gouvernement pour R-D en IA dans l'industrie canadienne 54
Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada 59

Section 4 : IA dans les universités, les ministères et les organismes gouvernementaux 61
Agence spatiale canadienne 63
Ministère des Communications, Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail 69
Ministère des Communications, Centre de recherches sur les communications 72
Ministère de la Défense nationale 73
Énergie, Mines et Ressources Canada 76
Groupe des conseillers gouvernementaux 89
Conseil national de recherches du Canada 90
Organisations provinciales de recherche 96
Transports Canada 102
La recherche universitaire en IA : Vue d'ensemble 105
Recherches en cognitique à l'Université de Calgary 108
Les récentes activités sur l'IA de l'Université de Guelph 116
Intelligence artificielle à Queen's 122
Université de la Saskatchewan 128
Université Simon Fraser 130
Recherches en vision biologique et artificielle à l'Université de Toronto ... 135

Section 5 : IA dans le commerce et l'industrie 145
Acquired Intelligence Inc. 147
Applied AI Systems, Inc. 150
Recherches Bell-Northern 152
CAE Électronique Ltée. 155
Canadien Pacifique 159
CompEngServ 161
Digital Equipment Corporation 163
Hydro-Québec 166
Activités de MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. dans le domaine de l'intelligence artificielle 174
Énergie Nouveau-Brunswick 177
Price Waterhouse 180

La Banque royale du Canada 182
Shell Canada 183

Section 6 : Annexes 187
Annex 1 : Étude sur les compétences canadiennes dans le domaine de l'IA : Décembre 1989 189
Annex 2 : La Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur 202
Annex 3 : Computational Intelligence 203
Annex 4 : Comité associé de l'intelligence artificielle, Conseil national de recherches du Canada 204
Annex 5 : Références bibliographiques et documents connexes 207

Section 7 : Index 209

Préface

Depuis plus de cinquante ans, les nombreux comités associés créés par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) ont servi de point de convergence et de tribune nationale pour débattre des questions d'intérêt national préoccupant les milieux scientifiques et techniques.

L'intelligence artificielle (IA) suscite actuellement beaucoup d'intérêt à l'échelle mondiale, et de nombreux pays ont mis en place d'importants programmes de recherche et développement en intelligence artificielle. De même, le Comité associé de l'intelligence artificielle (CAIA) du CNRC a été créé en avril 1987 afin de servir de tribune nationale de discussion et de planification dans ce domaine.

Le présent mémoire vise à fournir une description détaillée de l'état actuel de la recherche, du développement et des applications dans le domaine de l'intelligence artificielle au Canada, à partir des connaissances et des renseignements directement accessibles aux membres du CAIA. Bien que ce document renferme un grand nombre de descriptions et d'exemples des travaux de recherche et des capacités en matière d'IA au Canada, il reste évident, par ailleurs, qu'aucun rapport ne saurait être parfaitement représentatif. Le Comité espère que ce mémoire se révélera un condensé utile qui guidera et encouragera le milieu important, et toujours croissant, des chercheurs et des praticiens dans le domaine de l'IA.

On peut également se procurer des exemplaires du premier rapport du Comité, intitulé *Intelligence artificielle et société*, en écrivant à l'adresse indiquée en deuxième de couverture. Ce rapport est disponible dans les deux langues officielles.

Le CAIA tient à remercier les très nombreux organismes qui ont contribué à la préparation de ce mémoire en fournissant des renseignements sur leurs activités. Le Comité tient également à souligner l'aide qui lui est apportée par le Bureau des publications de l'Institut de technologie de l'information (ITI) (anciennement la Division de génie électrique) du CNRC, pour l'édition et la préparation finale de ses rapports.

Il est peut-être intéressant de souligner que ce mémoire a été presque entièrement réalisé à l'aide de la reconnaissance optique des caractères (ROC) (en tant qu'interface universelle), qui nous a permis de saisir directement dans un système d'éditique moderne les nombreuses contributions reçues, afin d'en uniformiser le style et la présentation.

Un index détaillé est présenté à la fin de ce mémoire, afin d'en faciliter l'emploi en tant que document de référence.

Ottawa (Ontario)
Juillet 1990

Section 1

Résumé administratif

Résumé administratif

Pour des raisons de commodité, les descriptions présentées dans ce document sont réparties en trois grandes sections :

- Les regroupements et les autres organismes de collaboration dans le domaine de la recherche et du développement en IA.
- Les activités de recherche et développement dans les universités, les ministères et organismes gouvernementaux, les conseils de recherches provinciaux, y compris ceux qui se consacrent au développement d'applications et au transfert de technologie.
- Le développement et l'implantation des applications dans le commerce et l'industrie.

On trouvera, à la figure 1, une représentation schématique du contenu du présent mémoire selon l'apport relatif des nombreux organismes de recherche et entreprises qui y ont généreusement contribué. En outre, un index détaillé est présenté à la fin du document, afin d'aider le lecteur à repérer tous les renvois se rapportant à un sujet particulier dans les différentes sections du mémoire. On trouvera, à l'Annexe 1, les résultats d'une étude portant sur les compétences et capacités canadiennes dans le domaine de l'intelligence artificielle. Selon ce relevé, il y a plus de mille personnes qui travaillent à plein temps et plusieurs centaines de personnes qui travaillent à temps partiel dans le domaine de la recherche, du développement et des applications de l'IA dans plus de 300 organismes répartis dans toutes les régions du Canada.

Regroupements, organismes de collaboration et organismes de financement

Institut canadien de recherches avancées

Le programme en intelligence artificielle et en robotique (IAR) de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) a été créé en 1984. Ce programme consacrait non seulement l'IA comme un nouveau champ de recherche présentant un intérêt considérable pour le commerce et l'industrie, mais reconnaissait aussi la nécessité d'accroître le financement afin de promouvoir l'excellence et le nombre des travaux de recherche en IA et en robotique dans les universités canadiennes.

Grâce au soutien de l'Institut, les 15 boursiers du programme IAR et d'autres chercheurs ont contribué à tous les aspects de l'étude des systèmes intelligents. Des centres reconnus à l'échelle internationale ont été établis dans trois importants centres de recherche situés à l'Université de Toronto, à l'Université McGill et à l'Université de la Colombie-Britannique, auxquels viennent se greffer d'autres centres de force, à l'Université Western Ontario, à l'Université Queen's et à l'Université de l'Alberta.

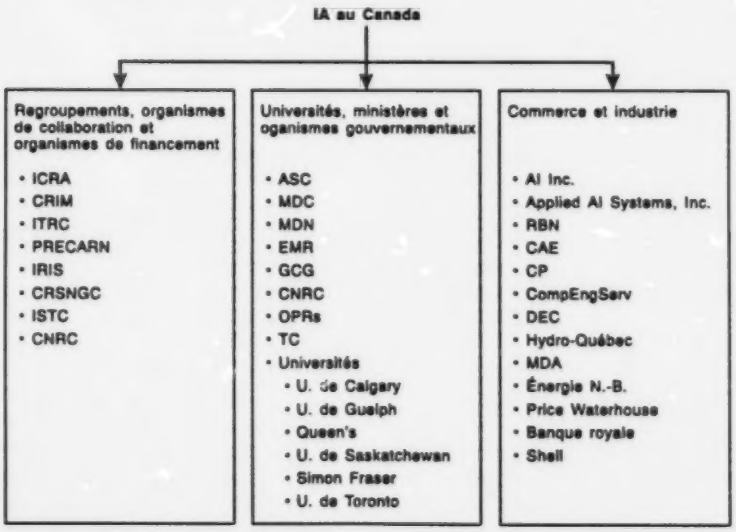


Figure 1. Un revue d'IA au Canada.

Centre de recherche informatique de Montréal

Le Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM) est une société sans but lucratif qui a été inaugurée officiellement en 1985. Le CRIM regroupe 7 représentants du milieu universitaire, 30 représentants du secteur industriel et 57 employés. Le Centre a désigné l'intelligence artificielle comme un domaine de recherche prioritaire, en plus de poursuivre des recherches dans d'autres secteurs de l'informatique. Ainsi, le CRIM continue de faire de la recherche fondamentale en IA, tout en travaillant à la mise au point d'un certain nombre d'applications. Les domaines de recherche comprennent le génie cognitif, l'acquisition des connaissances, l'essai et la validation de systèmes experts et le développement de la reconnaissance automatique de la parole. Le CRIM a mis au point une famille de systèmes experts destinés à l'industrie hydro-électrique et ayant pour fonction de faciliter l'inspection du matériel électrique à des fins de maintenance et de réparation. Il a collaboré à la mise au point d'un robot utilisé pour la maintenance des lignes de transmission à haute tension, et il a fourni une assistance technique spécialisée en vue de résoudre des problèmes liés aux dépôts de goudron dans les usines de papier kraft. Le CRIM a également mis au point des applications en météorologie, reconnaissance de la parole, simulation de vol, et planification commerciale.

Information Technology Research Centre

L'Information Technology Research Centre (ITRC) appartient au réseau des centres d'excellence financés par le Fonds de la technologie du Conseil du Premier ministre de l'Ontario. L'ITRC encourage la recherche fondamentale et appliquée en informatique aux universités de Toronto, Waterloo, Queen's et Western Ontario. L'ITRC subventionne les recherches du professeur Mylopoulus de l'Université de Toronto sur l'élaboration d'un système visant à faciliter la création, l'accès et la gestion des grandes bases de données, les recherches du professeur Wong de l'Université de Waterloo sur l'acquisition des connaissances, et celles des professeurs Wonham de l'Université de Toronto et Pang de l'Université de Waterloo sur les systèmes d'événements discrets. Les recherches sur la vision biologique et la vision artificielle menées par le professeur Tsotsos et d'autres chercheurs à l'Université de Toronto comprennent des études sur le rôle de l'attention sélective et du traitement parallèle dans les systèmes biologiques. Des procédures efficaces d'apprentissage par réseau neuronal, dont l'utilisation de méthodes d'apprentissage non supervisées, sont élaborées dans le cadre d'un projet dirigé par le professeur Hinton à l'Université de Toronto, avec des applications à la reconnaissance de la parole et des formes. À l'Université Queen's, le professeur Browse et d'autres chercheurs poursuivent des recherches dans le domaine de la perception visuelle et tactile, tandis qu'à l'Université Western Ontario, le professeur Pylyshyn et d'autres chercheurs poursuivent des études théoriques en cognitique, dans des domaines où les êtres humains sont très compétents, comme la perception visuelle d'objets en mouvement ou d'objets tridimensionnels, de même que dans des domaines où les êtres humains ont des aptitudes très restreintes, comme le calcul mental ou la détection de certains types de transformations d'images. On poursuit également des recherches sur les techniques d'analyse d'images appliquées à la poursuite radar des orages et à l'analyse de mouvement.

Le projet PRECARN

Par la suite, et de façon complémentaire, on a mis sur pied le projet PRECARN, qui est un regroupement industriel visant à promouvoir la recherche préconcurrentielle à long terme ainsi que le développement expérimental en robotique avancée et en intelligence artificielle. L'acronyme PRECARN signifie «PRECompetitive Applied Research Network», c'est-à-dire le réseau préconcurrentiel de recherche appliquée. C'est la prise de conscience qu'il fallait consolider la «capacité d'absorption» des industries canadiennes qui a mené à l'établissement du réseau PRECARN, dont les activités sont complémentaires à celles de l'ICRA. Le PRECARN regroupe actuellement 34 sociétés industrielles représentatives d'un large éventail d'activités économiques dans toutes les régions du Canada. Neuf des projets proposés par les membres du réseau feront l'objet d'études de faisabilité, et pourront bénéficier par la suite d'un financement global de 884 000 $ provenant des secteurs public et privé. Les projets retenus visent la télérobotique, les robots mobiles et l'application des systèmes experts à la commande avancée des procédés. Le réseau a aussi joué un rôle de premier plan dans la création de l'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS), un programme pancanadien de recherche sur les systèmes intelligents qui est géré par le PRECARN et regroupe plus de 120 chercheurs universitaires, dont les principaux spécialistes canadiens de l'IA et de la robotique. L'IRIS fait partie des 14 projets subventionnés dans le cadre du programme fédéral de réseaux de centres d'excellence.

Le réseau IRIS du PRECARN

L'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS) est l'un des 15 réseaux de recherche choisis récemment par le gouvernement canadien dans le cadre de son nouveau programme de réseaux de centres d'excellence, dont le budget s'élève à 240 millions de dollars.

L'IRIS a été constitué grâce à la concertation des efforts des chercheurs universitaires et du secteur privé. Ce réseau pan-canadien regroupe les chefs de file de la recherche universitaire dans le domaine de l'intelligence artificielle et de la robotique avancée, y compris les boursiers de l'Institut canadien de recherches avancées. L'IRIS est géré par le PRECARN, regroupement préconcurrentiel d'entreprises commerciales, et il est exploité de façon indépendante du réseau de recherche en IA et en robotique du PRECARN, tout en appliquant les mêmes procédures pour l'évaluation des projets et la diffusion des connaissances.

Le programme de recherche de l'IRIS comprend 22 projets dans trois domaines de recherche : la perception machine, les systèmes à base de connaissances, et la robotique intelligente. Ce programme, qui se poursuivra pendant quatre ans, bénéficie d'une subvention fédérale de 23 millions de dollars. Plus de cent chercheurs canadiens y participeront.

Une description du programme de recherche et de ses 22 projets est réimprimée à partir du texte original fourni par l'IRIS.

Programmes gouvernementaux d'aide à la recherche et au développement en IA au Canada

Outre les programmes mis sur pied par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNGC), le gouvernement canadien soutient le développement de la technologie de l'IA dans le cadre de programmes d'appui à l'industrie gérés par Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC) et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Ces programmes comprennent le Fonds de recherche et de développement en IA, le Programme des technologies stratégiques (PTS), le Programme de la microélectronique et du développement des systèmes (PMDS), le Programme de mise en valeur de la technologie (PMVT), le Programme de productivité de l'industrie du matériel de défense (PPIMD), qui relève d'ISTC, des programmes régionaux ainsi que le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du CNRC.

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNGC) est un organisme fédéral de financement ayant pour mandat de promouvoir et de subventionner la recherche en sciences naturelles et en génie. En 1990–1991, les subventions et les bourses attribuées dépasseront 400 millions de dollars. Quelque 17 000 personnes bénéficient des programmes de recherche et de formation du Conseil.

Le Conseil subventionne des projets dans de nombreuses disciplines, y compris l'intelligence artificielle, dans le cadre de programmes tels que le programme de subventions de fonctionnement, le programme de subventions thématiques, les programmes de partenariats de recherche, les bourses et les programmes internationaux. En 1989–1990, le Conseil a investi plus de 3,6 millions de dollars dans la recherche en intelligence artificielle.

IA dans les universités, les ministères et les organismes gouvernementaux

Agence spatiale canadienne (ASC)

L'Agence spatiale canadienne (ASC) soutient un certain nombre d'activités en intelligence artificielle appliquée à l'astronautique, principalement dans le cadre du Système mobile d'entretien (MSS) et du Programme des technologies stratégiques en automatisation et en robotique (TSAR).

Le Système mobile d'entretien (MSS) est la contribution du Canada au projet de station spatiale internationale «Freedom». Il s'agit d'un ensemble d'éléments robotiques configurés pour jouer un rôle essentiel dans le montage, la maintenance et la réparation de la station spatiale. Les principales composantes du MSS sont : le télémanipulateur de la station spatiale (SSRMS), un grand bras robotisé doté de sept degrés de liberté; le manipulateur adroit spécialisé (SPDM), un robot plus petit équipé de deux bras, et le centre de maintenance mobile (MSC), une plate-forme mobile pour le MSS qui servira à transporter des charges utiles autour de la station. Lors de la configuration opérationnelle initiale de la station, les capacités de base de ces composantes incorporeront des technologies stratégiques, dont des systèmes experts utilisant des techniques d'IA. En outre, ces capacités de base ont été conçues en vue de pouvoir évoluer vers l'exploitation autonome.

Les capacités de base déjà mises au point comprennent un langage de commande et de programmation, un système d'évitement des collisions, un système de vision permettant la reconnaissance et la poursuite des cibles, et un système de raisonnement procédural pour la saisie des données de diagnostic des défaillances qui sera exploité en temps réel. On développe actuellement un système de planification qui sera utilisé pour la production de plans opérationnels pour le MSS. Une composante essentielle de l'équipement de commande du MSS est le système de vision robotique, qui sera utilisé pour la commande manuelle et automatique des manipulateurs et des caméras. Ce système facilitera les opérations d'approche et d'amarrage, y compris le guidage, le chargement et le déchargement des charges utiles.

On prévoit qu'au cours des 30 années de fonctionnement de la station spatiale, les recherches sur les équipements évolueront de la télérobotique à la robotique autonome.

L'évolution du MSS nécessitera une utilisation croissante des techniques de pointe en IA, pour lesquelles on a déjà entrepris les premières études de faisabilité de la phase 1, et l'on planifie les projets de validation des principes de la phase 2. Ces techniques comprennent le diagnostic, la planification, les systèmes experts tuteurs, l'apprentissage automatique, les systèmes de vision, la planification des trajectoires et les systèmes d'évitement des obstacles. L'ASC fournit des descriptions sur l'état d'avancement de ces projets, dont la plupart sont confiés en sous-traitance au secteur privé.

Ministère des Communications

Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail

Inauguré en 1985, le Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail (CCRIT) fait partie du programme de recherche du ministère des Communications. Comme son nom l'indique, le CCRIT s'intéresse principalement à l'informatisation du travail. Il sert de catalyseur à l'utilisation croissante des télécommunications et des technologies informatiques, afin de répondre aux besoins des cogniticiens qui travailleront dans le bureau de l'avenir. Au CCRIT, la plupart des projets en IA relèvent de la Direction des technologies avancées, qui est composée de deux groupes : le groupe de Traduction assistée par ordinateur (TAO) et le groupe des Systèmes experts.

L'un des objectifs à court terme du groupe de TAO est la mise au point d'un poste de travail pour traducteurs, dont une première version, plutôt modeste et entièrement basée sur des logiciels disponibles dans le commerce, est actuellement à l'essai. Un autre projet, qui sera lancé sous peu dans le domaine de la génération de textes bilingues, permettra d'automatiser la rédaction de plusieurs types de rapports sommaires bilingues destinés à Statistique Canada. Un troisième volet du programme de traduction automatique a permis le développement d'un prototype de système pour la traduction de rapports sur les marchés agricoles. Il s'agit du premier système de traduction automatique, ou traductique, entièrement réversible, c'est-à-dire capable de traduire du français à l'anglais ou de l'anglais au français, à l'aide des mêmes grammaires et dictionnaires informatisés.

La recherche sur les systèmes experts porte notamment sur les systèmes de gestion des connaissances (acquisition et modélisation des connaissances), les systèmes experts appliqués à l'enseignement et à la formation, et les systèmes experts de gestion de l'information, tels que ceux qui sont utilisés pour l'indexation automatique des documents. Les systèmes experts mis au point jusqu'à présent comprennent un système d'appui à l'évaluation des projets soumis pour financement au Programme d'aide au développement économique régional (ADER). Un autre système, appelé AMÉTHYSTE, est destiné aux préposés à la paie et aux avantages sociaux; il est composé de 13 systèmes experts correspondant à différents aspects de la paie et des avantages sociaux (admissibilité au salaire, assurance-maladie, impôts, etc.)

Centre de recherches sur les communications

Au Centre de recherches sur les communications (CRC) des projets de recherche dans deux secteurs relèvent du domaine de l'intelligence artificielle. Il s'agit de la recherche sur la reconnaissance de la parole au moyen des réseaux neuronaux, et des systèmes permettant l'interaction vocale avec l'ordinateur.

Les recherches sur la reconnaissance automatique de la parole sont axées sur la reconnaissance de la parole indépendante du locuteur, un domaine qui présente de nombreuses applications potentielles. Le système CHAT (technologie d'accès à l'hypertexte conversationnel) permet aux usagers d'extraire des paragraphes d'information sur un sujet particulier en répondant à des questions posées en anglais ou en français.

Ministère de la Défense nationale

Au ministère de la Défense nationale (MDN), l'IA est considérée comme un secteur technologique susceptible de fournir des méthodologies qui permettront de résoudre certaines catégories de problèmes. On prévoit qu'avec le perfectionnement et l'implantation généralisée des techniques d'IA, la technologie de l'IA sera appliquée à la recherche militaire et ultérieurement aux situations opérationnelles. Entre-temps, les établissements du MDN à Dartmouth, Valcartier, Ottawa, Downsview, Suffield et Esquimalt continueront de suivre les progrès de cette technologie et de développer des applications spécifiques selon les besoins. Les recherches actuelles portent sur l'application de l'IA et des techniques connexes à la détection et à la classification des vaisseaux, à la logistique et à la stratégie militaires, à la fusion des données, à l'évaluation des menaces et à l'affectation des armes, aux systèmes de radars et de communications, à la vision artificielle, à la reconnaissance d'objets fondée sur modèles, à la détection et à la reconnaissance robotique des pièces d'artillerie, au traitement des images, à la détection des signaux, à la planification budgétaire, aux réseaux neuronaux et aux aides destinés aux gestionnaires des interventions d'urgence.

Énergie, Mines et Ressources Canada

De par son mandat, Énergie, Mines et Ressources Canada (EMR) réalise des recherches sur une grande variété d'applications de l'intelligence artificielle, depuis la photo-interprétation et le traitement de données recueillies par satellite au Centre canadien de télédétection, jusqu'à la production de cartes au Centre canadien de cartographie, la gestion des procédés de pointe et d'autres applications au Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), ainsi que les méthodologies de découverte des dépôts géochimiques et minéraux, y compris l'or, à la Commission géologique du Canada.

Les travaux du Centre canadien de télédétection (CCT) en intelligence artificielle sont très importants. On considère que l'intelligence artificielle est une composante essentielle du traitement des données de télédétection et de la résolution des problèmes de plus en plus complexes liés à la fusion des données. On compte parmi le savoir-faire du CCT, la conception et l'exploitation de RESHELL et la création du premier prototype d'un système expert pour aider à l'analyse des données LANDSAT. Un deuxième système expert hiérarchique, appelé Système d'experts hiérarchiques pour l'inventaire des ressources (SHERI) est en cours de réalisation. SHERI comprendra plus de 150 systèmes experts et devrait être terminé en 1993.

La réalisation de cartes passe par le transfert de données à l'échelle de couche à des cartes de plus petite échelle. Les travaux antérieurs du Centre canadien de cartographie (CCC) ont surtout porté sur la manipulation graphique de la représentation des objets. Les objectifs de recherche couvrent maintenant la constitution de la base de règles permettant d'en arriver à une approche exhaustive de la généralisation dans l'environnement numérique.

On compte parmi les autres applications de l'IA un conseiller en cartographie statistique (CCS) et l'étude du positionnement automatique des noms pour la production de cartes topographiques.

Le Laboratoire des sciences minérales (LSM) de CANMET a complété trois projets portant sur l'application des systèmes experts au traitement du minerai. Parmi les applications de gestion hors-ligne des procédés, on compte un système expert de broyage par clinker mis au point en collaboration avec Ciments Lafarge et un deuxième système, mis au point en collaboration avec une équipe de Lavalin et de Canadian Electrolytic Zinc (CEZ), qui aide l'opérateur d'une usine de raffinement et de lixiviation du zinc. Le Laboratoire a acquis de l'expérience sur les systèmes experts pour la gestion hors-ligne des procédés, un type peu répandu de systèmes experts, dans le cadre d'un projet conjoint avec Kidd Creek Mines par le biais d'un système de validation des données d'un analyseur à rayons X, suivi de la substitution de données si les données de l'essai sont considérées erronées.

L'expérience acquise révèle que les systèmes experts doivent être étroitement intégrés au matériel et au logiciel existants, et qu'il sera nécessaire d'assurer soit la conversion entre le traitement symbolique et le traitement numérique soit l'intégration de ces deux traitements. Ces besoins et tendances entraînent l'incorporation aux activités industrielles courantes de nouvelles technologies comme les systèmes experts, tout en réduisant leur visibilité.

Parmi les autres applications mises au point par CANMET, on compte l'analyse de l'effort dans les roches et les systèmes de soutien au sol à base de connaissances aux Laboratoires de recherche minière, ainsi que la prédiction de la durée de vie résiduelle due à la fatigue dans les structures soudées aux Laboratoires de la technologie des métaux, en plus de systèmes experts pour la sélection

d'alliages métalliques, la commande efficace des fours, la conception de la cavité de moulage et l'exploitation des fonderies. Les Laboratoires de recherche sur le charbon développent le prototype d'un système expert sur la récupération des fines de charbon, les Laboratoires de recherche sur l'énergie développent un système expert pour l'évaluation de l'adéquation de tout type de charbon à la gazéification du charbon, tandis que la Direction de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement développe trois systèmes experts liés aux systèmes de gestion de l'énergie des immeubles et à la conception d'immeubles à efficacité énergétique améliorée.

La Commission géologique du Canada compte un certain nombre de projets portant sur les systèmes experts à règles de production et envisage de lancer un projet sur les réseaux neuronaux. Plusieurs projets sont liés aux Systèmes d'informations géographiques (SIG) et visent l'évaluation des ressources minérales. Ces projets portent sur l'identification des dépôts aurifères, la prevision des orages géomagnétiques, la classification des roches métamorphiques et le recours à l'hypertexte pour la production d'un mode d'emploi sur l'équipement de levés océanographiques.

Groupe des conseillers gouvernementaux

Successeur du Bureau des conseillers en gestion (BCG), le Groupe des conseillers gouvernementaux (GCG) continue de s'intéresser activement aux technologies stratégiques, dont l'IA constitue un élément central. Dans le domaine de l'IA et de ses disciplines connexes, le CGC a réalisé des projets portant sur la reconnaissance automatique de la parole (RAP), la fusion des données par sélection de réseaux neuronaux, la reconnaissance des signaux sonar au moyen de réseaux neuronaux, les jeux et la simulation de combats navals, les systèmes experts pour les analyses de toxicité. Il a aussi réalisé des études sur les technologies de pointe et organisé des séminaires de formation.

Conseil national de recherches du Canada

C'est au début de 1987 que le Laboratoire des systèmes intelligents de la Division de génie électrique du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a entrepris son programme de recherche appliquée en intelligence artificielle. Les activités de ce programme visent le développement d'outils et de méthodes pour les systèmes à base de connaissances et leur application en fonction de besoins réels. Le Laboratoire a pour mandat général de développer, par l'entremise de travaux de recherche appliquée et de la collaboration avec l'industrie et les universités canadiennes, la technologie des systèmes intelligents qui permettra d'améliorer la position concurrentielle de l'industrie canadienne dans les nouveaux secteurs de la robotique à capteurs et des systèmes à base de connaissances.

Quelque 60 % des ressources que le CNRC consacre à l'IA se trouvent à la Section de recherches en informatique, dont les travaux visent le développement de technologies et de méthodes génériques en IA, dans une optique d'application et en mettant l'accent sur la collaboration avec d'autres intervenants. Les projets mis en oeuvre comprennent une interface en langage naturel qui fonctionne en français, un système d'apprentissage automatique orienté vers la planification des procédés industriels, un système de maintenance et de diagnostic des turbo-réacteurs, un système expert en temps réel pour les applications de commande des procédés, et un système conseiller intelligent pour aider les utilisateurs de bases de données.

Les projets et les activités de recherche en IA dans d'autres services du CNRC portent notamment sur la planification de parcours en robotique, le développement de véhicules autonomes, les procédures de soudure par résistance, le diagnostic médical, l'amélioration de la protection contre le brouillage électromagnétique, la mise au point d'un conseiller intelligent pour le système de commande d'une machine à papier, l'utilisation de techniques et matériaux industriels associés à la participation du Canada au programme spatial. Le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du CNRC soutient en outre des projets industriels en IA. L'Institut de recherche en construction du CNRC a créé, en collaboration avec le Conseil de recherches de l'Alberta, un groupe spécial, basé à Calgary, qui travaille sur l'utilisation de l'informatique dans l'industrie de la construction.

Organisations provinciales de recherche

Il suffit de passer en revue les activités des membres de l'Association des organisations provinciales de recherche du Canada (AOPRC) pour constater qu'il se fait de la recherche en IA à de nombreux endroits. Au Conseil de la recherche et de la productivité (CRP) du Nouveau-Brunswick, des chercheurs utilisent la logique floue pour implémenter certains composants d'un système de commande/alarme/conseiller pour les pelles à benne traînante utilisées dans les exploitations minières à ciel ouvert. Au laboratoire du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) à Montréal, les

recherches actuelles portent sur la vision artificielle, l'inspection automatisée et la robotique. On y a également utilisé les techniques d'analyse d'images pour détecter la présence de parasites dans les filets de poisson frais et l'on a récemment entrepris des travaux portant sur l'utilisation d'un simulateur de réseaux neuronaux dans une application de reconnaissance optique des caractères.

Les activités dans le domaine de l'IA semblent particulièrement bien implantées au Conseil de recherches de l'Alberta, qui créait, en 1984, une Division des technologies de pointe, maintenant rebaptisée Division d'informatique de pointe et de génie, qui compte plus de 40 employés. Depuis sa création, la Division a réalisé plus de quarante projets en IA, en robotique et en automatisation, qui ont engendré, en 1989, des revenus contractuels s'élèvant à 1,8 million de dollars. La Division compte cinq groupes technologiques :

- le groupe des opérations en intelligence artificielle (IA),
- le groupe de l'apprentissage et de la collaboration,
- le groupe de l'analyse des formes/structures et de l'intelligence artificielle,
- le groupe de l'intelligence artificielle en temps réel,
- le groupe de robotique et des technologies de l'automatisation.

Les projets réalisés pour le compte de sociétés industrielles et d'autres entreprises visaient un large éventail d'applications, dont la commutation téléphonique, la conception d'autoroutes, l'ordonnancement automatisé d'une installation de fermentation, la mise au point d'un système d'apprentissage assurant la conception des programmes d'études et des examens, le développement d'un système expert pour l'analyse des profils de sondage, et d'un système de reconnaissance optique des caractères/mots pour interpréter les caractères numériques et les symboles manuscrits sur les cartes et les transparents cartographiques, la maintenance et la détection des défaillances des appareils CF-18, le contrôle du lest dans les unités de forage semi-submersibles, la gestion des déversements de produits dangereux, la prévision d'alertes météorologiques, et autres.

Transports Canada

Le secteur des transports faisant une utilisation intensive de la technologie, il fait partie des responsabilités opérationnelles de Transports Canada d'évaluer l'applicabilité des nouvelles technologies et, s'il y a lieu, de soutenir leur application. Les exemples cités comprennent les responsabilités en matière d'aéronautique et des règlements de sécurité. Au total, le ministère confie en sous-traitance plus de 95 % de son programme de recherche et développement, dont le budget annuel se situe entre 25 et 35 millions de dollars.

Le ministère a entrepris ses premières activités de recherche et développement en intelligence artificielle en 1983. Depuis, le développement et la mise en oeuvre de systèmes experts relativement complexes sont devenus des activités courantes dans toutes les sections du ministère, ainsi que dans le secteur des transports en général. Les premières évaluations indiquaient que presque toutes les opérations de transport et les tâches relatives à la réglementation de ce secteur pouvaient être soutenues de manière efficace et économique par un système expert. Les domaines suivants étaient identifiés comme des champs d'application possibles :

- Exploitation des véhicules (préposés),
- Maintenance des véhicules,
- Surveillance externe des véhicules en transit,
- Contrôle et exploitation des superstructures ferroviaires (voies ferrées permanentes),
- Surveillance et exploitation des gares,
- Planification opérationnelle et réglementation,
- Planification stratégique.

Chacun de ces domaines comporte des subdivisions; par exemple, les applications destinées aux préposés à l'exploitation des véhicules englobent les systèmes de navigation de bord et la fourniture de conseils en situations d'urgence, tandis que le contrôle et l'exploitation des superstructures ferroviaires comprennent les prévisions météorologiques. Dès 1988, quelque 15 systèmes experts avaient été mis au point ou étaient sur le point de l'être, et il était devenu évident que les résultats du programme de recherche et développement du ministère dépassaient toutes les attentes. On a donc planifié une nouvelle série de projets d'applications et de recherche, dont les détails sont fournis dans les références citées.

Transports Canada consacre actuellement plus de deux millions de dollars par année aux activités de recherche et développement en AI, principalement à l'élaboration de systèmes experts. En outre, le Groupe Aviation a établi une installation d'essai et d'évaluation en IA pour le compte du ministère. Les travaux de recherche et développement exploratoires sur les réseaux neuronaux, la

reconnaissance de la parole et les systèmes tuteurs intelligents indiquent que ces technologies seront bientôt applicables au secteur des transports.

Les universités

Une revue générale des activités de recherche en IA dans les universités canadiennes trace l'évolution de cette technologie, depuis les tout débuts jusqu'aux capacités et compétences actuelles, en passant par l'essor qu'a connu la recherche au cours de la dernière décennie. Les faits saillants de cette évolution comprennent la fondation de la CSCSIO/SCEIO (Canadian Society for Computational Studies of Intelligence/Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur), la tenue de conférences bisannuelles, la création du magazine trimestriel *Intelligence artificielle au Canada* et de la revue scientifique *Computational Intelligence*, la création de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) et, plus récemment, celle de l'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS). On trouvera, ci-après, des descriptions plus détaillées des travaux réalisés dans certaines universités.

Université de Calgary

En 1985, l'Université de Calgary créait le Knowledge Science Institute (Institut de cognitique) dans le but de réaliser des études sur la cognitique, la technologie, les répercussions économiques et sociales, et de promouvoir la recherche interdisciplinaire sur les systèmes à base de connaissances. Un important réseau d'activités à été mis sur pied, auquel participent des chercheurs de la faculté d'informatique et d'autres départements universitaires, des chercheurs étrangers invités et des représentants de l'industrie. La recherche en génie cognitif a progressé dans de nombreux domaines clés; on a notamment réalisé une étude sur les tendances passées et futures dans l'industrie de l'informatique et l'automatisation des techniques d'acquisition des connaissances pour la réalisation rapide de prototypes de systèmes à base de connaissances. On travaille entre autres sur des applications dans le domaine des sports, où l'acquisition des techniques de jeu intéresse autant les athlètes que les entraîneurs.

Un programme d'ateliers sur l'acquisition des connaissances, qui a été lancé en 1986, a suscité beaucoup d'intérêt à travers le monde et a eu des répercussions considérables sur les publications dans ce domaine. L'institut a également réalisé des recherches sur l'apprentissage automatique et la programmation par l'exemple, qui ont permis le développement d'un système robotisé de distribution de médicaments pour un hôpital; il poursuit en outre des recherches sur la théorie et l'organisation des systèmes dotés de fonctions de compression de textes, ainsi que sur les méthodes de gestion de l'incertitude dans les systèmes à base de connaissances. Une importante partie de la recherche est axée sur la programmation logique, dont des travaux sur l'utilisation de l'arithmétique des intervalles pour les langages de programmation en IA et sur le parallélisme en programmation logique.

Université de Guelph

L'Université de Guelph nous a fourni une description des activités de trois groupes travaillant dans des domaines connexes à l'IA au sein du Département d'informatique. À l'heure actuelle, les recherches portent surtout sur l'utilisation des architectures parallèle et en pipeline pour les applications de traitement des images. On utilise de plus en plus le traitement en pipeline dans les systèmes de vision industriels, notamment pour l'inspection visuelle des procédés de fabrication. Les travaux de recherche à l'Université de Guelph mettent l'accent sur la programmation logicielle nécessaire à ces systèmes, particulièrement lorsqu'il faut avoir libre accès au logiciel, comme c'est le cas en recherche. Les recherches sur l'analyse de configuration et l'intelligence artificielle s'appliquent à deux domaines, soit l'analyse et la synthèse des configurations dans les chaînes moléculaires, comme les séquences ARN et ARNt, et la reconnaissance des configurations appliquée à l'analyse des données sismiques rétrospectives en Chine. Les recherches théoriques sur les problèmes liés à l'incertitude examinent des concepts relatifs à la logique probabiliste, au raisonnement non monotone, à la théorie de Dempster-Shafer et la capacité de la logique probabiliste de prendre en compte des valeurs probabilistes petites ou grandes. On travaille au développement d'applications pour des systèmes de diagnostic en médecine vétérinaire, notamment pour la colique équine, maladie équine nécessitant souvent une intervention chirurgicale d'urgence, et les maladies hépatiques chez les petits animaux, ainsi qu'au développement d'un système en langage naturel pour traiter le vocabulaire et la grammaire acquis chez les dauphins.

Université Queen's

L'Université Queen's s'intéresse à l'intelligence artificielle dans le cadre d'un vigoureux programme de recherche et de suivi qui est administré conjointement par le Département de psychologie et le Département d'informatique. Les recherches en IA

portent surtout sur la robotique, la perception, les systèmes à base de connaissances et la musique.

En robotique et en perception, les travaux de recherche sont axés sur le problème de la segmentation des images nécessaire aux systèmes de vision robotique. On explore un certain nombre de techniques, dont la discrimination basée sur la texture des objets, car on sait que les êtres humains peuvent explorer et identifier des objets à l'aide du toucher en fonction de la forme, de la dureté, de la souplesse, de la texture et d'autres données tactiles. Les recherches sur les systèmes à base de connaissances font appel au langage Nial (langage imbriqué interactif de rang), surtout utilisé dans des domaines où les puissantes opérations nécessaires à la manipulation dynamique des données symboliques et numériques permettent des applications directes des techniques d'IA. On poursuit le développement d'un ensemble d'outils Nial en IA, avec des applications du langage de programmation, pour le Système mobile d'entretien de la station spatiale, ainsi qu'un projet pour le groupe de recouvrement du capital de Bell Canada. On a également utilisé le Nial dans des applications externes visant la maintenance des aéronefs, le radiocarottage, le contrôle des systèmes d'égout, la mise au point des logiciels et l'évaluation des contrats d'assurances. Les travaux de recherche dans le domaine de l'IA et de la musique portent sur la logique symbolique appliquée à la modélisation basée sur les connaissances. On travaille notamment au développement d'un outil d'aide à la composition musicale, de même que sur un langage de programmation pour compositeurs. Une étude portant sur les méthodes d'extraction de traits sémantiques dans les représentations de données bidimensionnelles, comme les graphiques, les diagrammes ou les schémas de câblage, utilise les partitions musicales comme exemple initial pour l'élaboration de techniques générales de représentation et d'interprétation.

Université de la Saskatchewan

La recherche en IA revêt une importance toute particulière au Département d'informatique, où 5 des 16 professeurs à temps plein s'intéressent principalement à ce domaine. On y aborde un large éventail de sujets, dont : la représentation des connaissances, la compréhension des langues naturelles, la planification dynamique, la modélisation cognitive, le raisonnement qualitatif, le raisonnement probabiliste, les systèmes experts à base de règles, l'analyse des configurations, la segmentation, l'analyse de mouvement, les facteurs humains et autres sujets. Le laboratoire ARIES (Advanced Research in Intelligent Education Systems/Recherche avancée sur les systèmes tuteurs intelligents) a été créé en 1987 afin d'encadrer les projets d'application des techniques d'IA dans le domaine de la formation et de l'enseignement. Le projet SCENT (Student Computing Environment) vise à créer un environnement de soutien intelligent à l'intention des programmeurs débutants, qui puisse notamment reconnaître les stratégies de codage et les erreurs de stratégie des étudiants.

Les projets en traitement des images comprennent le développement de techniques pouvant être utilisées pour la reconnaissance de formes qui sont déformées de façon contrôlée et la compréhension du mouvement du corps humain, tandis que les projets qui portent sur la gestion de l'incertitude dans les systèmes experts utilisent le théorème de Bayes, la théorie de Dempster-Shafer et la logique floue comme approches utiles.

Université Simon Fraser

À l'Université Simon Fraser, l'importance accordée aux études interdisciplinaires a permis la mise en place d'une vigoureuse structure de soutien à la recherche en IA dans les cinq secteurs suivants : les systèmes experts, la vision artificielle, le traitement automatique du langage, la représentation des connaissances et les systèmes d'apprentissage. Les champs d'application comprennent le contrôle des procédés en temps réel, la compréhension des langages naturels, la traduction automatique, les études sur la vision et la stabilité chromatique, la planification des mouvements en robotique, les extensions intelligentes des systèmes de CAO et l'intégration des données multisensorielles aux systèmes de vision robotique.

Université de Toronto

À l'Université de Toronto, la recherche sur la vision artificielle et la vision biologique est une activité interdisciplinaire qui touche plusieurs départements et est affiliée aux activités réalisées à l'Université York. En 1980, dans la foulée des premières thèses de doctorat portant sur cette question, le Département d'informatique constituait un groupe de recherche sur la vision, auquel d'autres départements ont par la suite collaboré. Les travaux de recherches reposent sur le principe suivant : pour obtenir des résultats significatifs, il faut prendre au sérieux les hypothèses selon lesquelles le traitement visuel de l'information chez les êtres humains peut effectivement faire l'objet d'une modélisation machine. Il faut donc, entre autres considérations, examiner

attentivement toutes les observations biologiques et utiliser tous les outils mathématiques appropriés; les théories formulées doivent également avoir une incidence prédictive sur les expériences des biologistes, dans un processus de concessions mutuelles.

En janvier 1988, les projets entrepris par une importante équipe de recherche composée de professeurs et d'étudiants portaient sur les domaines suivants :

- la détection et la mesure rapides des mouvements,
- les représentations intermédiaires d'images,
- les modèles de structures d'images et de traits primitifs,
- le traitement chromatique primaire,
- le calcul visuel stéréoscopique,
- l'extraction du mouvement et des structures à partir d'images,
- les cartes topographiques auto-organisatrices,
- la vision et la navigation racines.

Développement et utilisation d'applications dans le commerce et l'industrie

Acquired Intelligence Inc.

Acquired Intelligence Inc. est une entreprise privée canadienne engagée dans la recherche, le développement et la commercialisation de l'IA. Cette petite entreprise semble représentative d'autres PME oeuvrant dans le secteur de la technologie de pointe. Son équipe, relativement restreinte, réunit cinq titulaires de doctorats, quatre détenteurs de maîtrises ès sciences, et plusieurs bacheliers ès sciences, qui possèdent une formation en informatique, en psychologie des connaissances, en génie, en neuropsychologie, en économie et en géologie. Les produits et les services offerts par l'entreprise sont nettement orientés vers les outils logiciels servant à l'acquisition des connaissances. Ces outils, qui peuvent être exploités sur des ordinateurs personnels ordinaires, permettent aux utilisateurs de développer et de maintenir des systèmes experts avec un minimum d'assistance technique spécialisée. L'utilisation et la mise au point du système visaient des applications dans les domaines suivants : hématologie, foresterie, exploitation minière, analyse de marché, médecine, astronautique, agriculture, enseignement, neuropsychologie et constitution de bases de connaissances à partir de documents écrits tels que les règlements municipaux en matière de stationnement automobile.

Applied AI Systems, Inc.

Applied AI Systems, Inc. se spécialise dans la recherche, la conception, la mise en oeuvre et le déploiement de systèmes pratiques d'IA; elle fournit également des services spécialisés en éducation, formation et consultation à l'intention des entreprises. Cette entreprise a réalisé des études et des rapports portant notamment sur la planification et l'évaluation des technologies et possibilités de l'IA dans le secteur des transports, les technologies à interaction vocale, l'automatisation des opérations maritimes, l'état de la recherche en IA au Japon, au Royaume-Uni et en Europe, la compréhension des langages naturels dans les réseaux neuronaux, et la répartition des véhicules.

Recherches Bell-Northern

Organisme de recherche et développement affilié à la société Northern Telecom, Recherches Bell-Northern (RBN) compte plus de 6700 employés qui travaillent dans des laboratoires au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni. Le programme de recherche en IA, qui existe depuis plusieurs années, vise principalement l'exploration et le développement de techniques d'IA destinées à être utilisées dans les produits et services offerts par RBN et ses sociétés soeurs, ainsi que dans les processus de conception et de développement. La complexité des réseaux de télécommunications s'accroît rapidement par suite de l'implantation de nouveaux services et fonctions, l'augmentation de la connectivité et l'avènement de nouveaux composants. Recherches Bell-Northern estime que les systèmes experts peuvent prendre en charge bon nombre des tâches nécessaires à l'établissement et à l'exploitation des réseaux de télécommunications, et en fait, que ces systèmes seront bientôt indispensables. L'entreprise a déjà réalisé des applications de l'IA dans les domaines suivants : systèmes pour la maintenance des commutateurs téléphoniques numériques, service à la clientèle sur l'accès au circuit, transformation des spécifications des clients commerciaux en descriptions détaillées du matériel, du logiciel et du schéma d'implantation, conception technique de circuits, conception de logiciels et interfaces en langage naturel pour l'interrogation des bases de données.

CAE Électronique Ltée

Chez CAE Électronique Ltée, les activités en intelligence artificielle ont commencé en 1985, par une évaluation de l'apport potentiel de l'IA sur le plan des besoins et intérêts de l'entreprise. En juin 1988, l'entreprise créait un groupe spécialisé, chargé de

mener à terme les projets en cours et de développer de nouvelles applications. CAE Électronique participe, avec d'autres, au projet de développement d'un système avancé d'analyse et de commande des procédés (projet APACS), parrainé par le réseau PRECARN. En résumé, ce projet, qui s'inscrit dans le prolongement des technologies de pointe actuelles en matière de commande informatisée des procédés, vise la réalisation de progrès dans deux domaines techniques, soit : l'utilisation des systèmes à base de connaissances pour aider les opérateurs de centrales nucléaires à prendre des décisions techniques et le développement possible de capacités de simulation «plus rapides qu'en temps réel» pour soutenir le diagnostic informatisé en temps réel des défaillances des systèmes et la prédiction du comportement des installations.

Le projet FLITE est un programme de recherche sur l'application de l'IA à la simulation aérodynamique, plus particulièrement au problème de la mise au point des modèles aérodynamiques utilisés pour représenter les aéronefs dans les simulateurs fabriqués par CAE. En général, au moins une centaine de manoeuvres distinctes d'essai en vol sont testées et enregistrées, auxquelles il faut faire correspondre étroitement les sorties du modèle aérodynamique utilisé dans le simulateur en ajustant les coefficients du modèle et les sorties du simulateur. L'interface utilisateur et les capacités d'optimisation mathématique, de raisonnement qualitatif et de réglage automatique des paramètres du système FLITE sont très utiles dans ce procédé. Toujours dans le domaine de la simulation, le système ITEMS a pour fonction d'aider les utilisateurs militaires à exploiter les systèmes de simulation de missions tactiques à des fins d'entraînement. On utilise aussi les techniques à base de connaissances pour accroître la précision des systèmes de reconnaissance de la parole dépendants du locuteur, actuellement axés sur des applications dans le domaine du contrôle de la circulation aérienne.

Canadien Pacifique

Les applications qui ont été mises en oeuvre au Canadien Pacifique, depuis les débuts de l'utilisation de l'IA en 1984, comprennent un système expert permettant de détecter 80 % des défaillances des radios mobiles, un conseiller en maintenance basé sur l'analyse spectrographique ou physique des échantillons d'huile pour cylindres de locomotives, et un système de régulation ferroviaire assisté par ordinateur. Ce dernier système, maintenant largement répandu en Amérique du Nord, applique les règles de la régulation ferroviaire et dresse la liste des choix valides pour le soutien opérationnel. Ces capacités allègent le travail des régulateurs et le stress qu'ils subissent, améliorant ainsi la sécurité ferroviaire. Le CP a également mis en oeuvre un conseiller qui aide les régulateurs à déterminer quand ils doivent accepter ou retourner les wagons appartenant à d'autres compagnies ferroviaires en fonction des règlements de l'American Association of Railroads, ainsi qu'un système permettant l'interrogation d'une banque de données en anglais. Les nouvelles applications en cours d'élaboration incorporeront les connaissances des mécaniciens expérimentés dans un système expert utilisé pour la maintenance et la réparation des locomotives diesel; ces connaissances seront également incorporées dans un système qui servira à programmer la réparation des voies ferrées de manière à réduire les retards au minimum, ainsi que dans un système intelligent d'information de gestion qui permettra d'extraire des données à partir des rapports de l'entreprise, fournissant ainsi aux usagers l'information nécessaire en fonction des occurrences.

CompEngServ Ltd.

CompEngServ se consacre depuis 15 ans au développement de matériel et de logiciels informatiques de pointe, et travaille activement depuis 1983 à trouver des solutions IA à des problèmes particuliers. Ces solutions ont fait appel aux disciplines classiques de l'IA, c'est-à-dire les systèmes experts, les systèmes à base de règles, les systèmes de planification, les systèmes de vision, la robotique et les réseaux neuronaux, de même qu'aux outils d'IA tels que les langages de programmation orientés objet.

Le bref résumé fourni par l'entreprise décrit ses principaux projets, dont le système expert CORES pour la résolution des conflits en contrôle de la circulation aérienne, développé en LISP à l'aide du système KEE, et EMIR, un système expert sur le brouillage électromagnétique. Développé pour Pêches et Océans Canada, le système EDMAN est une interface intelligente pour la gestion des données historiques sur l'environnement marin. Ce système sert à assurer la qualité des données préalablement à leur saisie dans la base de données, ainsi qu'à aider les usagers de la base de données.

Digital Equipment Corporation

Digital Equipment Corporation (DEC), l'un des premiers utilisateurs de la technologie des systèmes experts, maintient un vigoureux programme

de développement de systèmes experts, ainsi qu'une équipe de 600 spécialistes de l'IA à travers le monde. Les économies réalisées grâce à la mise en oeuvre de systèmes experts sont évaluées à 200 millions de dollars par année et connaissent un taux de croissance annuel de 40 %. Les différents groupes du Centre de technologie de l'IA (CTIA) se concentrent sur le développement de produits IA et d'applications internes, sur la prestation de services de consultation externes, et sur la recherche en IA.

Reconnaissant qu'elle devait pouvoir compter sur un grand nombre de cogniticiens compétents, l'entreprise a formé plus de 450 stagiaires dans le cadre de son programme de formation en génie cognitif, qui a ensuite été offert à certains de ses clients, sous l'appellation Programme de bourses en IA. Plus de 80 clients importants y ont inscrit leurs employés, dont 14 stagiaires canadiens. L'entreprise réalise également des projets de développement de systèmes experts en collaboration avec certains clients canadiens (décrits à la rubrique DEC).

Les récents efforts visant à réduire le coût des systèmes experts ont misé sur l'identification de solutions communes à toutes les entreprises, ou du moins à la plupart des entreprises d'un même secteur industriel, et sur la classification des systèmes experts en fonction de la nature du problème à résoudre (diagnostic, configuration, programmation, etc.), plutôt qu'en fonction des industries.

Hydro-Québec

Parce que les activités des entreprises productrices d'énergie sont en grande partie de nature cognitive et qu'elles doivent atteindre un degré élevé de fiabilité et d'efficacité, l'utilisation des technologies les plus puissantes et les plus prometteuses est de rigueur. Ces technologies comprennent l'intelligence artificielle, et plus spécifiquement, les systèmes experts. Hydro-Québec a mis au point, dans une optique d'application, des méthodes de gestion des technologies qui permettent de déterminer les systèmes experts qui sont réalisables, d'éliminer les propositions inappropriées et d'évaluer les applications prometteuses en fonction de leurs avantages économiques et autres. Ces avantages résident notamment dans la satisfaction des besoins suivants : rendre l'expertise accessible à un grand nombre d'utilisateurs, protéger l'expertise en voie de disparition, faciliter la formation et l'acquisition d'expertise en milieux dangereux.

Les applications décrites comprennent des systèmes experts utilisés aux fins suivantes :

- conception préliminaire des réseaux de transport,
- interprétation des événements survenant dans les réseaux de transport,
- amélioration du traitement des alarmes et des changements d'état,
- diagnostic des transformateurs de grande puissance,
- diagnostic de la sécurité des barrages en terre,
- simulation du fonctionnement des complexes hydro-électriques,
- en conjonction avec un système de conception assistée par ordinateur, réalisation de plans d'ensemble des postes 25 kV,
- gestion des échanges avec les réseaux voisins, afin de maximiser les revenus des ventes et de réduire les coûts au minimum.

MacDonald Dettwiler and Associates Ltd.

MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. est l'un des chefs de file dans le domaine des technologies de télédétection, en particulier la réception et le traitement des images provenant de l'espace. Ces technologies comprennent des systèmes de traitement des données recueillies par les satellites de télédétection de ressources naturelles, comme LANDSAT et SPOT, les satellites météorologiques et les satellites radar à ouverture synthétique.

Voici des exemples des applications de systèmes experts :

- un assistant météorologique pour la prévision des précipitations (sur une période de 12 heures), par projection automatique des positions futures des fronts chauds et froids sur les cartes météorologiques;
- un système permettant de prévoir, le jour même, les perturbations météorologiques graves dans les Prairies canadiennes;
- un système à base de connaissances pour l'extraction automatique des caractéristiques planimétriques des images obtenues par télédétection, en fonction des connaissances relatives aux réseaux routiers;

- un système à base de connaissances, développé en conjonction avec MacMillan Bloedel Ltd., pour la prévision des défaillances et la planification de l'entretien préventif des gros camions forestiers. Ce système utilise soit les données enregistrées par des détecteurs spéciaux soit les observations fournies par les utilisateurs.

Énergie Nouveau-Brunswick

Énergie Nouveau-Brunswick a développé un certain nombre d'applications de systèmes experts en vue de résoudre des problèmes spécifiques au service hydro-électrique. Un contrôleur à base de connaissances, fonctionnant en temps réel, a été développé en langage Prolog, en collaboration avec l'Université du Nouveau-Brunswick, dans le but de réduire au minimum la réponse en cas de pannes survenant dans les régulateurs électrohydrauliques des groupes hydro-électriques. Un deuxième projet portait sur l'utilisation possible d'autres systèmes à base de règles pour le module frontal d'un système logiciel servant à l'affectation des groupes. Ce système fait partie d'un progiciel d'ordonnancement des opérations hydrothermiques et de modélisation des régimes fluviaux. Parmi les autres applications, mentionnons l'utilisation des systèmes experts dans les réseaux de distribution où le diagnostic des défaillances et la restauration du service sont d'importants sujets de préoccupation, le développement d'un prototype de système expert pour la génération automatique de données de tests pour la validation du programme de contrôle thermique du modérateur dans une centrale nucléaire, la mise au point d'un système à base de connaissances pour la sélection des canaux lors du rechargement du réacteur à la centrale nucléaire de Pointe Lepreau, et l'élaboration d'un programme informatique d'aide à l'analyse des procédures opérationnelles d'urgence.

Price Waterhouse

À l'instar d'autres grandes sociétés d'experts-conseils, Price Waterhouse a désigné les systèmes experts comme l'une des technologies clés de sa pratique en technologies de l'information. L'unité canadienne spéciale dans le domaine des nouvelles technologies maintient d'étroites relations avec des unités semblables aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Australie.

La liste des projets axés sur les systèmes experts et sur les systèmes à base de connaissances témoigne de la diversité des applications de l'IA, et de leur intégration croissante dans le commerce, l'industrie et l'administration publique. Il s'agit notamment de systèmes experts servant à la sélection préliminaire des propositions pour la création de nouvelles normes, à l'évaluation des risques des appareils médicaux, et à l'évaluation des répercussions des nouvelles technologies sur le contrôle des coûts médicaux. Ces projets comprennent en outre un système conseiller pour le traitement chimiothérapeutique du cancer, ainsi que des séminaires de formation à l'intention des utilisateurs éventuels de l'IA. Parmi les tendances observées et les orientations futures prévues, mentionnons l'élargissement et l'intégration des applications de la technologie de l'IA au secteur de la vérification et des pratiques fiscales, à la gestion des systèmes et aux systèmes informatiques traditionnels.

Banque royale du Canada

Grâce aux projets réalisés par son service de planification et de développement des technologies, la Banque royale du Canada continue d'adopter la technologie de l'intelligence artificielle, principalement l'utilisation des systèmes experts en vue de résoudre des problèmes particuliers. Soulignons particulièrement l'utilisation de systèmes experts permettant d'incorporer les connaissances pertinentes du personnel expérimenté et de mettre ces connaissances à la disposition des autres employés oeuvrant dans des secteurs traditionnels comme les services de consultation spécialisés, les services d'assistance opérationnelle et les systèmes d'évaluation des risques.

Shell Canada

Il y a à peine quatre ans, les systèmes experts n'avaient pas encore fait leurs preuves dans l'industrie pétrolière; aujourd'hui, Shell Canada utilise cette technologie pour trouver des solutions à une catégorie de problèmes qui sont très difficiles voire impossibles à résoudre à l'aide des techniques informatiques ordinaires. L'entreprise compte utiliser les systèmes experts pour tenter de régler des problèmes qu'on peut habituellement résoudre par l'heuristique, le jugement et l'approche empirique. Les domaines commercial et administratif, notamment les règles fiscales, les règles en matière de redevances, et les politiques relatives au personnel, font l'objet d'une deuxième classe d'applications. En raison des changements fréquents qui surviennent dans ces secteurs, les systèmes informatiques traditionnels sont coûteux à maintenir et peu fiables. La technologie des systèmes experts, notamment des systèmes à base de règles, se prêterait mieux à ces champs d'activité. Un troisième domaine d'applications vise la saisie des connaissances et compétences du personnel expérimenté

dans les opérations techniques et financières, et dans les politiques en matière de ressources humaines et de régimes de retraite, et la transmission de ces connaissances au personnel moins expérimenté. Environ une douzaine de systèmes ont été développés jusqu'à présent dans les trois domaines susmentionnés, et ils utilisent généralement des coquilles de systèmes experts disponibles dans le commerce. Ces systèmes fournissent des conseils aux ingénieurs de forage, aux préposés au traitement, aux toxicologues, aux évaluateurs de risque de crédit; ils fournissent également du soutien en temps réel à un préposé au service de dépannage.

Conclusion

On peut conclure de ces comptes rendus que si l'intelligence artificielle est une discipline encore jeune, son développement et son application sont actuellement en plein essor. L'intelligence artificielle s'applique à de nombreux domaines et elle est hautement interdisciplinaire. Bien que la plupart des travaux réalisés au Canada soient axés sur la recherche et les applications futures, il existe déjà une vigoureuse base d'applications qu'il aurait été difficile de cerner il y a à peine quelques années. Avec un effectif de plus de mille personnes travaillant à temps plein dans ce domaine, on peut dire que l'IA se porte très bien. Les chercheurs canadiens en IA sont hautement respectés dans les milieux internationaux et continuent de développer de nouvelles applications innovatrices dans le commerce et l'industrie.

La principale priorité du Comité associé de l'intelligence artificielle du Conseil national de recherches du Canada est de favoriser une collaboration plus étroite entre les utilisateurs de l'IA et les chercheurs qui travaillent dans les laboratoires universitaires et gouvernementaux. Le présent rapport a été préparé en vue de favoriser la réalisation de cet objectif.

La suite du présent rapport contient des descriptions plus complètes, de même qu'un index détaillé. Encore une fois, le Comité tient à remercier les nombreux organismes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Section 2

Introduction

Introduction

Avant même de commencer à envisager les incidences commerciales, techniques ou sociales de l'intelligence artificielle, il faut disposer d'une définition acceptable de ce que l'on entend par «intelligence artificielle».

Définir l'intelligence artificielle n'est pas une tâche facile. On peut l'envisager comme fondée sur une branche de l'informatique axée sur la conception, l'élaboration et l'application de systèmes informatiques chargés d'exécuter des tâches exigeant l'exercice de facultés intellectuelles comme l'aptitude à reconnaître, à raisonner, à décider et à apprendre. Dans ses applications, l'intelligence artificielle est donc une tentative d'intégrer les aptitudes et l'expertise humaine à des systèmes informatiques. Ces systèmes comprennent ce qu'on appelle les systèmes experts et les systèmes à base de connaissances.

L'une des caractéristiques essentielles des applications de l'IA est que le système informatique associé doit fournir des éléments de connaissance définissables sur le contexte dans lequel il sera utilisé, ainsi que sur les objectifs à atteindre. En outre, lorsque l'éventail des conditions d'application du système est correctement délimité, son comportement doit au moins pouvoir être rationnellement attribuable à ce qu'il comporte de la représentation de ses connaissances et de ses buts. Nous illustrerons ces caractéristiques des systèmes d'IA à l'aide de divers exemples.

Les systèmes informatiques qui utilisent l'intelligence artificielle présentent habituellement des formes évoluées d'entrée et de sortie comme les suivantes :

- entrée vocale et reconnaissance vocale,
- traitement des langages naturels,
- vision artificielle,
- interprétation photographique,
- compréhension des images,
- formes évoluées d'entrée à capteurs,
- synthèse vocale et sortie de parole,
- capacité d'opérations mécaniques et de manipulation (comme dans la robotique).

Voici quelques-unes des applications de l'Intelligence artificielle :

- le traitement des langages naturels,
- la traduction automatique,
- les systèmes experts, comme ceux que l'on utilise pour le diagnostic et le traitement des maladies, pour la surveillance et le diagnostic des défaillances de matériel dans les usines, les réseaux de télécommunications et les systèmes d'approvisionnement en électricité,
- l'ordonnancement des tâches et la planification des procédés de fabrication,
- les robots et autres systèmes autonomes dotés de vision ou d'autres capacités de détection leur permettant de réagir aux modifications du milieu extérieur.

Les systèmes experts présentent un intérêt particulier parce qu'ils sont, dans leurs applications, à la fine pointe de l'IA. Ils possèdent généralement la plupart des caractéristiques énumérées au tableau 1, quoique pas nécessairement toutes.

Le tableau 2 énumère quelques-unes des applications éventuelles à titre d'illustration de l'ampleur et de la pénétration de l'intelligence artificielle. Il importe de tenir compte de cette ampleur pour donner la mesure des répercussions de l'intelligence artificielle.

Pour l'essentiel, les avantages tirés de l'intelligence artificielle prennent en général les trois formes suivantes :

1. Les systèmes à base de connaissances tendent à saisir, à représenter et à diffuser les connaissances de manière plus uniforme dans les organismes et les structures sociales. Les entreprises industrielles, par exemple, constatent que les connaissances et l'expérience acquises par les travailleurs chevronnés peuvent être conservées et diffusées dans l'ensemble de leur organisation de manière plus uniforme et accessible qu'auparavant.

2. Le processus décisionnel est amélioré par la qualité de la base de connaissances et du processus de raisonnement employés, ainsi que par la rapidité de la réponse. On élabore déjà des systèmes pour une grande variété d'applications, en particulier sous la forme de systèmes experts.

Tableau 1. Attributs des systèmes experts.

Nature de l'application et de l'utilisation	On se sert des systèmes experts pour obtenir des conseils de la même façon, à bien des égards, qu'on le ferait d'un expert humain.
Expert de domaine	L'élaboration d'un système expert exige que l'on dispose des connaissances et de l'expérience d'un spécialiste du domaine et qu'on y puise. Cette personne est appelée l'expert de domaine.
À base de règles	Un grand nombre de systèmes experts ne sont pas à base de procédures établies sous forme d'algorithmes, mais tirent leurs connaissances d'un ensemble de règles.
Méthode de représentation des connaissances	Les connaissances du système sont conservées et extraites selon les règles de la base de connaissances plutôt que d'être représentées par des procédures inscrites par codage informatique comme dans les programmes «classiques».
Représentation symbolique	Les systèmes experts traitent généralement l'information sous forme symbolique au lieu de procéder par calculs numériques. On peut se servir d'entrées, de sorties ou de règles exprimées en langage naturel, par exemple l'anglais, plutôt que sous forme numérique.
Stratégies de recherche	Pour chercher la solution d'un problème, les systèmes experts examinent, choisissent et manipulent les règles de la base de connaissances au moyen de stratégies de recherche du type chaînage amont ou aval. La partie d'un système expert qui exécute la fonction logique est parfois appelée moteur d'inférence.
Langage informatique	Les systèmes experts sont souvent rédigés en langages de traitement de listes, comme le LISP, ou en langages de programmation logique, comme le Prolog, plutôt qu'en langages orientés procédure, comme le Fortran.
Représentation de parcours	Les systèmes experts comportent un attribut important : ils peuvent expliquer comment tel ou tel résultat a été obtenu. Cette caractéristique s'appelle également fonction d'explication ou de transparence.
Apprentissage	Il est souvent nécessaire de soumettre les systèmes experts à une période d'apprentissage dans le cadre de leur élaboration, parce qu'il est plus difficile de vérifier et de valider les systèmes experts que les programmes informatiques à caractère numérique ou de calcul.
Conception en vue d'une croissance incrémentielle	Étant donné que la base de connaissances est distincte de la logique de recherche, il doit être possible d'ajouter de nouvelles règles ou de modifier les règles existantes sans devoir réévaluer ou réorganiser la structure initiale.

3. Les interfaces et les moyens de communication entre les personnes, entre les systèmes et entre les personnes et les ordinateurs s'améliorent et deviennent plus naturels. Prenons comme exemples la possibilité de traiter les langages naturels, la possibilité d'améliorer les techniques de traduction automatique des nombreuses langues écrites et parlées dans le monde et les possibilités que laissent entrevoir la reconnaissance de la parole et la vision artificielle.

Bien qu'il existe des définitions de ce que l'on entend par «intelligence artificielle», les exemples sont le meilleur moyen d'expliquer de quoi il s'agit. La revue *Intelligence artificielle au Canada* (voir l'annexe 2) présente de brefs résumés de documents relevant du domaine de l'intelligence artificielle publiés dans divers pays du monde. On y décrit un grand nombre des concepts, des réalisations et des secteurs d'application de l'intelligence artificielle qui illustrent sa nature généralisée et envahissante. Les exemples, retenus parmi quelque sept cents publications récentes dans le domaine de l'IA en fonction de leur orientation pratique, expliquent une bonne partie de ce que les spécialistes de l'IA envisagent, proposent et font.

Ces documents renseignent également sur les nombreuses sources dont découleront les avantages de l'IA, en mettant à la portée du plus grand nombre les connaissances et l'expérience des chercheurs, comme avec les systèmes experts, et l'accès aux ordinateurs, comme le font toutes les formes de nouvelles interfaces d'entrée/sortie.

Référence

1. Scrimgeour, J. Expert Systems — A Review of their Potential and Application in Canada, *Canadian Conference on Industrial Computer Systems*, mai 1986 (source principale).

Tableau 2. Secteurs d'application de l'IA et des systèmes experts (1).

Secteurs d'application	Systèmes expert	Secteurs d'application	Systèmes expert
Fabrication	Synthèse et optimisation de la conception	Éducation	Tutoriel intelligent
	Planification des procédés		Environnements d'auteur fondés sur l'intelligence artificielle
	Sélection de paramètres de procédés		Environnements de découverte
	Vision robotique et systèmes robotiques intelligents		Interfaces pédagogiques
Gestion des procédés	Analyse et réduction des situations d'alerte	Orientation de carrière	Conseil sur les études à suivre en vue de l'emploi désiré dans des professions précises
	Définition des règles de gestion des procédés	Transports	Contrôle de la circulation aérienne
	Modélisation du rendement des meilleurs opérateurs		Entretien du matériel
Matériaux	Choix des meilleurs matériaux pour une fonction de conception donnée		Gestion des stocks
	Choix des revêtements et enduits	Planification financière	Conseils sur les décisions de placement et la planification financière
Secteur primaire	Évaluation des données d'exploration	Espace	Télédétection et interprétation des données
	Gestion des cultures et des troupeaux en agriculture	Santé	Diagnostic médical
	Prospection minière		Établissement de cycles de traitement optimaux, p. ex. dans le traitement du cancer par radiations
	Planification et conception minières	Traduction automatique,	
	Gestion opérationnelle	Reconnaissance de la parole,	
Entretien	Diagnostic des défaillances de matériel d'usine ou de bureau	Traitement des langages naturels	
Environnement	Prévisions météorologiques générales		
	Prévision des averses de grêle		

Section 3

Regroupements, organismes de collaboration et organismes de financement

Institut canadien des recherches avancées

Liste de mots clés : Intelligence artificielle, agents autonomes, Institut canadien des recherches avancées (ICRA), cognitique, architecture de calcul, apprentissage machine, linguistique de calcul, logique de calcul, vision artificielle, théorie de la commande, interaction entre institutions, bourses universitaires de recherche, rencontres d'étudiants diplômés, formation interdisciplinaire, ateliers interdisciplinaires, représentation des connaissances, neuroscience, bourses d'études, télérobotique.

Le domaine de l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle a été définie comme l'étude et la conception de systèmes capables d'afficher un comportement qui serait considéré comme intelligent s'il venait d'un être humain. Cette définition est évidemment beaucoup trop simpliste. Non seulement repose-t-elle sur notre compréhension intuitive de l'«intelligence», mais encore inclut-elle toutes sortes de comportements qui, s'ils peuvent impressionner certaines personnes, font appel à des moyens sans rapport avec l'intelligence (par exemple, estimer la masse d'une étoile éloignée : on pourrait y arriver par une inférence complexe, mais aussi grâce à un instrument nouveau, extrêmement sensible, mais qui n'effectue aucun traitement intelligent). Une des premières étapes de l'établissement d'une science est la détermination de ses limites naturelles. De nombreuses personnes sont actuellement d'avis que le propre de l'intelligence est l'aptitude à traiter la connaissance, que ce qui rend certains systèmes capables (à l'instar des humains) de manifester de l'intelligence est leur aptitude à acquérir, emmagasiner et traiter une grande somme de connaissances et d'en tirer des inférences, pour ensuite décider des mesures à prendre en fonction de celles-ci et en tenant compte de certains objectifs ou utilités recherchés. Cette conception générale de l'intelligence offre un cadre de compréhension de certains domaines de recherche apparemment disparates, mais rassemblés dans le domaine de l'IA.

La recherche en IA se concentre principalement sur trois domaines qui recoupent certains des aspects de l'intelligence mentionnés ci-dessus. Le premier se rapporte à l'acquisition de la connaissance extérieure. Il fait appel à l'étude de la perception, qui nous permet d'acquérir des connaissances à partir de notre environnement naturel, et de l'apprentissage, dont l'étude a peu évolué en psychologie au cours des cinquante dernières années, mais sur lequel les chercheurs en IA se penchent avec un renouveau d'intérêt depuis quelque temps.

Le deuxième domaine de recherche touche l'étude des modes de représentation et de traitement des connaissances, dans le but de raisonner et d'en tirer de nouvelles inférences. Ce domaine est lié de près à l'étude de la logique symbolique; il a permis le développement de nombreux calculs formels servant à la représentation de diverses sortes de connaissances. Il concerne aussi les contraintes de représentation et de raisonnement relatifs aux croyances, aux buts, aux faits conditionnels, au temps, aux modalités (telles que «devrait», «doit») et d'autres types de contenus conceptuels. La connaissance est traitée par certains types de règles incorporées dans les programmes informatiques. D'une certaine manière, ces règles s'apparentent à celles de la logique, mais elles diffèrent passablement des règles ordinaires de la logique déductive avec lesquelles la plupart des gens sont familiers (par exemple, le raisonnement syllogistique). Ainsi, ces règles peuvent ne pas préserver strictement la vérité, mais faire appel à une heuristique plausible, être probabilistes, émettre des hypothèses qui sont éliminées au fur et à mesure de l'apparition de preuves nouvelles, etc.

Le troisième domaine porte sur la transformation des décisions en actions. Il se concentre sur les problèmes de la planification d'une séquence d'actions possibles visant un but défini, de la gestion de la coordination perceptivo-motrice, et du mouvement de membres physiques ou autres dispositifs d'activation pour accomplir la tâche désirée.

Dans la poursuite de ces activités, il faut toujours s'employer à résoudre deux catégories de problèmes. La première est «symbolique». Il s'agit du codage des percepts ou de la connaissance selon des codes internes, et du traitement de ces codes symboliques selon certaines règles. Ce ne sont pas seulement les cas évidents de raisonnement et de résolution de problèmes qui font appel à de tels processus; il y a de bonnes raisons de croire que ceux-ci interviennent dans la vision, la lecture de la mémoire, la compréhension des phrases, et d'autres tâches où nous n'avons conscience d'aucun raisonnement volontaire. La recherche en IA cherche à découvrir des systèmes et règles de codage capables de venir à bout de la tâche (par exemple, comprendre une phrase en anglais, ou une image LANDSAT). Elle s'intéresse aussi beaucoup à certaines mesures de complexité associées au processus, et s'efforce de prévenir la

croissance exponentielle tant redoutée, qui fait que le nombre d'étapes requises pour un travail risque d'augmenter de façon exponentielle avec le volume des entrées. L'étude des aspects symboliques de l'IA est souvent tributaire de la science informatique, mais peut aussi faire appel à la logique mathématique et à la linguistique, de même qu'à l'étude des méthodes de résolution de problèmes et de prise de décisions utilisées par les humains, qui relève à son tour de la psychologie, de l'économie, et même de l'anthropologie.

La deuxième catégorie de problèmes a pour origine le désir de nombreux chercheurs en IA de concevoir des systèmes physiques capables d'exécuter les processus étudiés. C'est pourquoi un aspect important de l'IA porte sur la conception de mécanismes (arrangements d'éléments) capables de mener à bien de tels processus. Il ne s'agit pas seulement ici de la conception d'instruments électroniques, mais aussi de l'étude plus abstraite des systèmes capables d'implémenter un processus intelligent. Cela comprend notamment l'étude des architectures de calcul, ou de classes de structures de calcul, telles que la conception de machines à haut degré de parallélisme, ainsi que de tout mécanisme réalisable permettant la production d'une activité intelligente, y compris les détecteurs, les effecteurs, différents types de mémoires, et les structures de commande. Dans le cas de l'étude d'agents autonomes («robots») ou de systèmes semi-autonomes («robots télécommandés»), il faut consacrer une somme considérable de recherches à l'aspect instrumentation de la technologie; il se peut que de nouveaux matériaux soient nécessaires (en particulier pour la conception d'effecteurs et de manipulateurs) et que de nouveaux systèmes de détecteurs doivent être mis au point.

La conception de tels mécanismes n'est qu'une facette de l'IA, mais qui fait fréquemment appel à des compétences et des techniques étrangères à l'informatique, issues des techniques de mathématiques continues, de l'optique, de la théorie de l'information et de la commande, tout comme de diverses branches du génie et de la science des matériaux. Dans ce second aspect de l'IA, assez différent des études quasi-logiques de la représentation des connaissances, du raisonnement, de la complexité du calcul et de la conception d'algorithmes, on peut tirer des enseignements précieux de l'étude psychophysique et psychobiologique des capacités des systèmes intelligents les plus évolués que nous connaissions, soit les systèmes vivants.

Il arrive souvent que nous ne puissions déterminer d'avance si certains problèmes appartiennent à la première ou à la seconde catégorie d'étude. Ainsi, pendant longtemps, il a été généralement accepté que la perception était en continuité avec le raisonnement, et qu'elle recourait dès les premières étapes aux connaissances préalables, aux attentes et aux inférences. Les chercheurs estiment à présent qu'un traitement assez poussé, indépendant de la connaissance, se produit dans ce qu'on appelle la «vision primaire»; des progrès considérables ont été réalisés dans ce sens par des chercheurs spécialisés dans l'optique, la géométrie descriptive et les neurosciences. Il en va de même de la commande moteur. On a vu récemment des progrès notables dans la compréhension du système moteur et des propriétés du tissu musculaire des humains; ces progrès devraient très bientôt être appliqués à la conception de nouveaux mécanismes robotiques.

Les membres du programme en IAR ont contribué à tous les aspects de l'étude des systèmes intelligents. Jusqu'à présent, l'accent a surtout été mis sur la vision primaire, la représentation des connaissances et le raisonnement. Plus récemment, nous avons réalisé des progrès exceptionnels dans la science fondamentale de la conception et de l'analyse d'agents autonomes, parfois appelée «robotique» dans sa version appliquée. Dans ces domaines, le programme réunit quelques-uns des meilleurs chercheurs au monde; les membres de la Commission d'examen, qui a récemment déposé son rapport sur les cinq premières années du programme, ont clairement confirmé ce fait. Le programme est également très avancé dans les sciences fondamentales concourantes, comme la psychologie, la psychobiologie et les mathématiques. Le programme a également enregistré des progrès dans les domaines de l'architecture et de la motricité, avec l'addition d'experts en robotique à notre équipe de théoriciens de la commande et de neurophysiologistes spécialisés dans la motricité humaine.

Historique : l'approche du programme sur l'IA et la robotique de l'ICRA

L'IA étant un domaine *naissant*, la plupart de ses concepts et techniques sont très nouveaux (ou ont du moins suivi des orientations radicalement différentes depuis une vingtaine d'années) et se sont développés en même temps que le domaine lui-même. De plus, l'étude de l'IA est interdisciplinaire; en effet, bon nombre des problèmes éprouvés ont été étudiés par diverses disciplines.

La recherche en IA exige donc des compétences interdisciplinaires, tant sous le rapport du contenu que de la méthodologie. Dans de nombreux cas, les grands projets d'IA exigent à la fois des efforts et un éventail de compétences qui ne peuvent être réunis que dans les groupes interdisciplinaires. Toutefois, à cause de l'importance économique des nouvelles technologies développées dans le cadre de l'intelligence artificielle, les services de chercheurs qualifiés sont en très forte demande. Le domaine est donc très bien placé pour profiter du soutien indépendant des ressources humaines et de l'interaction entre disciplines et institutions que peut offrir l'ICRA.

Le soutien de l'ICRA est conçu pour favoriser le développement de la science et de la technologie de l'IA et de la cognitique au Canada, et ce à trois niveaux : le perfectionnement personnel de chercheurs prometteurs, la formation d'une masse critique de chercheurs oeuvrant dans les centres d'excellence, et la création d'une communauté de recherche interdisciplinaire bien répartie dans le territoire. L'ICRA concentre ses efforts sur l'aspect scientifique fondamental des sciences appliquées de base tout en apportant talent et conseils aux applications plus avancées dans lesquelles se spécialisent PRECARN et les divers centres provinciaux et fédéraux de programmes d'excellence, tels que l'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes, le Centre de recherches sur les technologies de l'information et le British Columbia Advanced Systems Institute.

Historique

On estime qu'il existe plus de 50 centres d'IA dans le monde, les meilleurs étant aux États-Unis. Toutefois, la Grande-Bretagne, le Japon, la France, l'Allemagne et la Communauté économique européenne ont entrepris des initiatives nationales dans ce domaine, et d'autres pays, comme les Pays-Bas, la Suède et l'Australie, ont aussi mis sur pied des programmes nationaux. Dans ce domaine, la main-d'oeuvre est extrêmement rare, surtout en raison de sa nouveauté et de son prestige, et aussi à cause du fait qu'un nombre important de grandes industries (particulièrement aux États-Unis, en Grande-Bretagne et au Japon) ont reconnu son potentiel économique et ont établi leurs propres laboratoires d'IA; ces entreprises sont prêtes à investir au maximum pour attirer les rares experts en IA. L'IA est un domaine particulièrement approprié pour recevoir le soutien de l'ICRA, c'est une science de pointe fascinante du point de vue intellectuel et d'un énorme potentiel économique. Le propre de ce domaine est en effet son caractère interdisciplinaire; il peut profiter d'un soutien non limité à une discipline et non conventionnel. De plus, le Canada dispose déjà d'une bonne base d'experts de renommée internationale, qui sont toutefois dispersés de Halifax à Victoria.

Le programme d'Intelligence artificielle et de Robotique (IAR) a été le premier programme approuvé par le conseil de l'ICRA, en 1983. À la fin de 1984 (la première année complète du programme), 14 personnes ont été intégrées : 11 membres et 3 membres associés. Il y a maintenant 16 membres, 3 chercheurs universitaires et 14 membres associés (dont 14 hors du Canada).

En mai 1988, le programme est entré dans un processus de révision de cinq ans par un comité international d'experts; il a reçu d'excellentes notes. En effet, le comité a classé les principaux centres (l'Université McGill, l'Université de Toronto et l'Université de la Colombie-Britannique) parmi les 10 meilleurs au monde, tout en attribuant directement une grande partie de leur succès au programme de l'ICRA. Les membres du programme ont reçu d'autres récompenses au cours des années (incluant un grand nombre de prix du meilleur article, la IEEE Field Medal, le prix Steacie et le prix Hebb; ils ont aussi obtenu des bourses communes telles que la bourse de recherche Killam et la bourse Steacie).

Activités du programme

Rencontres, ateliers et publications

Le programme d'IAR prévoit une rencontre générale de tous les membres chaque année depuis ses débuts. Dans certains cas, des invités de l'extérieur (ou des recrues possibles) sont aussi convoqués. L'assistance à ces rencontres est nombreuse : sauf quelques exceptions, tous sont là. C'est à l'occasion de ces rencontres annuelles que s'établissent un grand nombre de contacts susceptibles de déboucher sur des collaborations fructueuses.

Outre les rencontres annuelles régulières, des membres du programme ont organisé quelques ateliers sur des sujets précis. À l'occasion de l'atelier de Dalhousie, en 1986, les chercheurs ont organisé des présentations et quelquefois des démonstrations d'une partie du travail de recherche réalisé par le groupe de neuroscience de Dalhousie et d'autres travaux connexes; l'atelier de 1986 portait sur les approches de calcul des problèmes de la vision humaine, celui de 1987 sur l'action

guidée visuellement, et le thème de celui de 1988 était «Vision and the Extrastriate Cortex» (la vision et le cortex extrastrié). Les actes de ces deux premiers ateliers ont été publiés par Ablex dans les premiers volumes de la série de l'Institut canadien des recherches avancées en intelligence artificielle et en robotique. Le volume 1 s'intitule *Computational Problems in Human Vision* (Problèmes de calcul en vision humaine) et le volume 2 : *Vision and Action : The Control of Grasping* (Vision et action : le contrôle de saisie par la main).

Activités d'étudiants diplômés

Des étudiants diplômés ont aussi pris part aux activités du programme. Les étudiants en recherche sur la vision de l'Université McGill et de l'Université de Toronto (et plus récemment, quelques étudiants de l'Université Western Ontario) ont participé à des échanges annuels, des groupes d'environ 15 étudiants visitant pendant deux jours un autre laboratoire en vue de procéder à un échange d'idées et de participer à une discussion sur leurs recherches. Les échanges entre les étudiants travaillant sur la vision ont pris la forme d'ateliers de deux jours et demi organisés par et pour les étudiants diplômés, à l'Université York. Ces rencontres entre étudiants diplômés sont officiellement devenues des événements annuels. La deuxième a eu lieu durant l'été 1988 à Edmonton (Alberta); elle portait sur la représentation des connaissances et le raisonnement. La troisième, qui a eu lieu à London (Ontario) durant l'été 1989, portait sur la vision pour la robotique, et une quatrième est prévue pour l'été 1990 dans la région de Vancouver. En plus de ces échanges et ateliers à caractère officiel, plusieurs étudiants travaillant avec des membres du programme ont reçu des fonds pour se rendre à d'autres centres de l'ICRA et discuter de sujets de recherche avec les étudiants de ces centres.

On trouvera, au tableau 3, quelques brefs résumés des sujets de recherche cités par des membres, des universitaires et des membres associés du programme en intelligence artificielle et robotique.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Zenon Pylyshyn, Directeur
CIAR Program in Artificial Intelligence and Robotics
Centre for Cognitive Science
The University of Western Ontario
London (Ontario)
N6A 5C2
Téléphone : (519) 661-2063

Références supplémentaires

Z. Pylyshyn (Éd.). *Computational Processes in Human Vision : An Interdisciplinary Perspective*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ. 1988.

M. Goodale (Éd.). *Vision and Action : The Control of Grasping*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ. 1990.

Tableau 3. Sujets de recherche cités par des membres du programme en IAR.

Membres	Sujets de recherche
Membres	
Zenon W. Pylyshyn, Director Centre for Cognitive Science Social Science Building The University of Western Ontario London, Ontario N6A 5C2 (519) 661-2063	Problèmes théoriques dans la cognition humaine; études sur l'attention visuelle humaine
Dr. Peter E. Caines Département du génie électrique Université McGill 3480, rue Université Montréal (Québec) H3A 2A7 (514) 398-7129	Bases de la commande adaptative, applications à l'apprentissage automatique

Tableau 3. Suite.

Membres	Sujets de recherche
Professor Max Cynader Eye Care Clinic Vancouver General Hospital 2550 Willow Street Vancouver, British Columbia V5Z 3W1	Études de l'organisation du cortex visuel, combinant les approches de calcul, anatomique et physiologique
Professor Geoffrey Hinton Department of Computer Science University of Toronto 10 King's College Road Toronto, Ontario M5S 1A4	Architecture du réseau neuronal et applications à la représentation de l'apprentissage, de la vision et de la connaissance
Professeur John Hollerbach Chaire industrielle de robotique Université McGill Montréal (Québec) H3A 2A7	Études théoriques sur le contrôle moteur humain et la conception des systèmes robotiques intelligents
Professeur Martin D. Levine Département du génie électrique Université McGill 3480, rue Université Montréal (Québec) H3A 2A7 (514) 398-7115	Conception de systèmes de vision à usage général, avec applications en biomédecine et en robotique
Professor Hector Levesque (Member Program Development Committee) Department of Computer Science University of Toronto 10 King's College Road Toronto, Ontario M5S 1A4 (416) 978-3618	Représentation des connaissances, modèles de croyance, problèmes de complexité en raisonnement automatisé
Professor Alan K. Mackworth (Member Program Development Committee) Department of Computer Sciences University of British Columbia 6356 Agricultural Road Vancouver, British Columbia V6T 1W5 (604) 228-4893	Vision artificielle, représentation de la connaissance visuelle
Professor John Mylopoulos Department of Computer Science University of Toronto 10 King's College Road Toronto, Ontario M5S 1A4 (416) 978-5180	Représentation des connaissances, bases de données déductives
Professor Raymond Reiter (Nodal Coordinator) Member Program Development Committee Department of Computer Science University of Toronto 10 King's College Road Toronto, Ontario M5S 1A4 (416) 978-6324	Modèles de raisonnement, logique non monotonique adaptée au raisonnement automatisé, application de la logique au diagnostic, à la vision et à d'autres domaines

Tableau 3. Suite.

Membres	Sujets de recherche
Professor Demetri Terzopoulos Department of Computer Science University of Toronto 10 King's College Road Toronto, Ontario M5S 1A4	Vision artificielle basée sur des modèles physiques et des graphiques informatiques dynamiques
Professor John K. Tsotsos Department of Computer Science University of Toronto 10 King's College Road Toronto, Ontario M5S 1A4 (416) 978-3619	Vision biologique et artificielle, complexité et autres problèmes théoriques en traitement visuel
Professor Robert J. Woodham (Nodal Coordinator) Department of Computer Science University of British Columbia 6356 Agricultural Road Vancouver, British Columbia V6T 1W5 (604) 228-4368	Vision artificielle (bas niveau), télédétection
Professeur George Zames Département du génie électrique Université McGill 3480, rue Université Montréal (Québec) H3A 2A7 (514) 398-7141	Théorie mathématique des systèmes rétroactifs
Professeur Steven Zucker (Coordonnateur de centre et membre du Comité de développement du programme) Département du génie électrique Université McGill 3480, rue Université Montréal (Québec) H3A 2A7 (514) 398-7134	Analyse théorique des visions artificielle et biologique
Les chercheurs de l'Institut	
Professor David Lowe Department of Computer Science University of British Columbia 6356 Agricultural Road Vancouver, British Columbia V6T 1W5 (604) 228-3170	Vision artificielle, reconnaissance des objets
Professeur Ian Hunter Module du génie biomédical Faculté de médecine Université McGill 3775, rue Université Montréal (Québec) H3A 2A7 (514) 398-6740	Études théoriques et expérimentales sur la motricité humaine

Tableau 3. Suite.

Membres	Sujets de recherche
Professeur Mark Seidenberg Département de psychologie Édifice Stewart des sciences biologiques Université McGill Montréal (Québec) H3A 2A7	Recherches sur la compréhension du langage, modèles des capacités linguistiques humaines
Professor Richard B. Stein Department of Physiology University of Alberta Edmonton, Alberta T6G 2E5 (403) 432-3796	Études des systèmes moteurs humains et animaux, conception des mécanismes prosthétiques moteurs
Dr William G. Tatton Playfair Neuroscience Unit Toronto Western Hospital North Pavilion, Room 903 399 Bathurst Street Toronto, Ontario M5T 2S8 (416) 369-5147	Neuroscience de la motricité et de la coordination visuelle et motrice
Membres associés étrangers	
Professeur Wolfgang Bibel Institut fur Informatik Technische Universität München D-8000 München 2 Allemagne	Raisonnement automatisé, machines à inférence parallèle, représentation des connaissances, synthèse de programmes
Dr. Ronald Brachman, Head Artificial Intelligence Principles Research Department AT&T Bell Laboratories 600 Mountain Avenue Murray Hill, NJ 07974-2070 U.S.A. (201) 582-3000	Systèmes de représentation des connaissances et du raisonnement; systèmes de description fondés sur cadres
Dr. Stanley J. Rosenschein Artificial Intelligence Centre ARI International 333 Ravenswood Avenue Menlo Park, CA 94025 U.S.A. (415) 326-6200	
Membres associés	
Professor Roger Browse Department of Computer and Information Science Queen's University Kingston, Ontario K7L 3N6 (613) 545-6069	Études sur la perception humaine et artificielle en modalités visuelles et tactiles

Tableau 3. Suite et fin.

Membres	Sujets de recherche
Professor Mel Goodale Department of Psychology Social Sciences Building University of Western Ontario London, Ontario N6A 5C2 (519) 661-2070	Commande visuelle de l'action, base neuronale de la coordination visuelle et motrice des mammifères
Professor Alan Jepson Department of Computer Science University of Toronto Toronto, Ontario M5S 1A4 (416) 978-6488	Modèles mathématiques et de calcul de systèmes biologiques de vision
Professor Peter D. Lawrence Department of Electrical Engineering University of British Columbia 2356 Main Mall Vancouver, British Columbia V6T 1W5 (604) 228-5934	Conception de systèmes robotiques et télérobotiques
Professor Susan Lederman Department of Psychology Queen's University Kingston, Ontario K7L 3N6 (613) 545-2878	Études sur la perception haptique chez les humains, avec applications à la robotique
Professor Jeffry Pelletier Department of Philosophy University of Alberta 4-108 Humanities Centre Edmonton, Alberta T6G 2E5 (403) 432-5471	Problèmes de la représentation des connaissances et du traitement des langages naturels
Professor Len Schubert Department of Computing Science University of Alberta Edmonton, Alberta T6G 2E5 (403) 432-3330	Problèmes de la représentation des connaissances et du traitement des langages naturels. Conception de systèmes de compréhension du langage
Dr. Edward Stabler Department of Linguistics University of California, Los Angeles 405 Hilgard Avenue Los Angeles, CA 90024-1543 U.S.A. (213) 825-8376	Traitement en langages naturels et déduction automatisée
Professor Anne Treisman Department of Psychology University of California Berkeley, CA 94720 U.S.A. (415) 643-8408	Études de l'attention humaine; traitement visuel

Centre de recherche informatique de Montréal

Mots-clés : recherche par concertation, intelligence artificielle, systèmes experts, acquisition des connaissances, parole, réseaux neuronaux, interfaces de l'utilisateur, raisonnement qualitatif, systèmes de diagnostic, génie des logiciels, robotique, simulation, connaissance profonde, génie, météorologie, affaires, langage naturel, télécommunications, transfert de technologie, séminaires, cours, ateliers.

Introduction

Le Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM) est un organisme sans but lucratif enregistré selon les termes de la Loi sur les compagnies du Québec; elle se compose de 7 membres universitaires, 30 membres industriels et 57 employés. L'inauguration officielle du CRIM en octobre 1985 a couronné les efforts de nombreuses personnes travaillant dans les universités, les industries et l'administration publique pour établir à Montréal un centre de recherche informatique où les chercheurs des secteurs universitaire et industriel pourraient collaborer.

Le CRIM a fait de l'intelligence artificielle une priorité. Les autres aspects de la recherche informatique au CRIM se rattachent à ce thème central; souvent, un même projet fait appel à plusieurs domaines de recherche. Ces domaines comprennent le génie des logiciels, les interfaces opérateur–machine, le calcul parallèle, les communications informatiques, la CAO/FAO et l'intégration à très grande échelle. Les laboratoires du CRIM offrent un environnement favorable aux projets de recherche et de développement.

Les systèmes experts

Les systèmes experts et les systèmes à base de connaissances sont un domaine primordial de recherche et de développement pour le CRIM. Cette technologie est appliquée à d'autres domaines, dans le cadre de différents projets.

Recherche

Tout en implémentant de nombreuses autres applications, le CRIM a poursuivi la recherche fondamentale en IA. Les domaines de ces recherches sont les suivants :

- le développement et l'étude des techniques et des modèles d'acquisition des connaissances,
- l'automatisation du processus de génie des connaissances,
- l'intégration de la connaissance profonde aux systèmes experts,
- l'essai et la validation automatiques des systèmes experts,
- l'utilisation de très vastes bases de connaissances et de réseaux causals complexes,
- le développement de la reconnaissance automatique de la parole,
- l'application des réseaux neuronaux à la classification des phonèmes.

Le CRIM a fait beaucoup de progrès dans :

- les systèmes à tableau noir,
- l'intégration des stratégies de raisonnement statistique, heuristique, à base de modèles et à base de cas,
- le développement d'interfaces d'utilisateur intelligentes,
- les techniques de raisonnement qualitatif pour des systèmes à variation temporelle,
- l'intégration du raisonnement qualitatif et de l'optimisation numérique,
- les algorithmes de satisfaction des contraintes pour le raisonnement qualitatif.

Applications hydro-électriques

De nombreux projets concernent l'industrie hydro-électrique. Une «famille» de systèmes experts a été proposée pour porter un diagnostic sur un ensemble de matériel électrique, à des fins d'entretien et de réparation. Ce projet exigeait le développement d'un modèle d'acquisition des connaissances pour la conception d'un système expert de diagnostic général pour différents types d'équipement électrique.

En collaboration avec plusieurs de ses membres, le CRIM participe à un projet de recherche sur les méthodes numériques pour les installations hydrauliques. Les sujets examinés sont les suivants : bases de données reliées au génie, cartographie numérique, systèmes à base de connaissances en conception technique. Le but principal de ces recherches est l'automatisation des diverses phases du génie des connaissances et l'optimisation de certaines tâches dans les systèmes de conception assistée par ordinateur.

Le CRIM en est actuellement à l'étape de modélisation du développement d'un système expert de diagnostic pour la surveillance de l'état des barrages hydro-électriques. Le modèle devrait être

suffisamment souple et universel pour s'adapter à différents autres travaux.

Un autre projet, visant à aider la prise de décisions dans l'optimisation des logiciels de simulation des complexes hydro-électriques, est maintenant achevé.

Le CRIM et deux autres centres de recherches sont associés dans le cadre d'un projet de recherche sur un robot intelligent. Télécommandé par un opérateur, celui-ci automatisera l'entretien des lignes de haute tension. Le robot aura sa propre base de connaissances lui permettant d'effectuer automatiquement certaines tâches et de consulter l'opérateur sur ses décisions.

Applications industrielles

La gestion des procédés industriels bénéficie aussi de l'expérience en recherche et développement du CRIM. La résolution des problèmes causés par les dépôts de goudron dans les usines de papier kraft fait l'objet d'un projet basé sur l'expérience d'un expert humain en goudron. La connaissance profonde du procédé de fabrication du papier kraft est incorporée au système.

Le CRIM a réalisé une étude de faisabilité avec l'un de ses membres industriels relativement à un projet de système expert de diagnostic pour l'industrie métallurgique. Les sujets de recherche de ce projet peuvent inclure des méthodes de traitement d'une très vaste base de connaissances et de raisonnement dans un réseau causal complexe.

Applications météorologiques

Un prototype de système expert consultatif est en préparation; il aidera les météorologues dans les aéroports. Ce système simulera qualitativement le comportement physique de certains phénomènes absents des modèles numériques, et que le météorologue utilise couramment pour ses prévisions. La recherche porte non seulement sur la météorologie, mais aussi sur la méthodologie d'essai et de validation des systèmes experts.

Applications commerciales générales

Pour ce qui est de ces applications, la modélisation des données des entreprises a été le sujet d'un des premiers projets du CRIM. Un prototype de système expert de modélisation des données a été développé.

Le CRIM a aussi développé un prototype de système expert de diagnostic de l'état d'une entreprise par l'analyse d'une série de variables objectives et subjectives.

Autres applications

Dans le domaine de la reconnaissance de la parole, le CRIM a créé une interface vocale pour un système expert médical. Une carte de circuits imprimés pour la reconnaissance de la parole, en anglais et en français, est en cours de développement. Le CRIM met aussi au point un système pour reconnaître et rechercher des mots-clés donnés dans la parole continue (repérage de mots).

La recherche du CRIM s'emploie actuellement à l'analyse de dialogues en langage naturel et à la production de textes. Un outil d'interrogation des bases de données a été conçu et mis au point pour les recherches bibliographiques.

Dans le domaine du génie, un autre projet porte sur un système à base de connaissances pour la vérification et le dépannage de modèles de simulateurs de vol.

En ce qui a trait à l'ingénierie des logiciels, un chercheur du CRIM procède actuellement à une étude des outils et méthodologies de développement de logiciels incorporant des concepts d'intelligence artificielle.

Dans le domaine des télécommunications, le CRIM travaille actuellement sur des implémentations de protocoles en langages non procéduraux. Les définitions contenues dans la formulation du protocole seront traduites en règles qui serviront de données pour un moteur d'interface de cinquième génération.

Laboratoires

Depuis leur inauguration, le 25 avril 1988, les laboratoires du CRIM sont devenus une vitrine de l'informatique de pointe. Les laboratoires ont donc satisfait et fait croître l'intérêt des secteurs de la fabrication et des services pour les technologies informatiques avancées.

Ces laboratoires constituent un élément important des services du CRIM; ils y jouent trois rôles principaux. Le premier est le transfert de technologie grâce aux séminaires, cours et ateliers. Ceux-ci vont d'une vue d'ensemble d'un sujet à l'utilisation d'un logiciel d'application donné. Le deuxième rôle consiste à offrir aux membres et aux non-membres l'occasion d'évaluer le matériel et les logiciels afin de prendre des décisions en toute

connaissance de cause. Le troisième est de fournir aux utilisateurs des installations de pointe pour la réalisation de leurs projets et de leur recherche.

Pour rester attentifs aux besoins de la société québécoise, les laboratoires du CRIM disposent d'un éventail de systèmes allant du simple PC au super-mini-ordinateur. Les logiciels disponibles sont représentatifs des outils accessibles aux laboratoires de recherche et développement et aux sociétés d'informatique de pointe du monde entier. Les logiciels d'application mis à la disposition des utilisateurs incluent les outils de pointe de GLAO et les noyaux de systèmes experts les plus avancés.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Dr R. De Mori
Vice-président, Recherche et développement
Centre de recherche informatique de Montréal
1550, boulevard de Maisonneuve ouest
Bureau 1000
Montréal (Québec)
H3G 1N2

Centre de recherches sur les technologies de l'information

Le Centre de recherches sur les technologies de l'information (CRTI) est un centre de recherches avancées financé par le Fonds de la technologie du Conseil du Premier ministre de l'Ontario, qui encourage la recherche fondamentale et appliquée sur les technologies de l'information menée dans les universités de Toronto, Waterloo, Queen's et Western Ontario. L'intelligence artificielle, la cognitique et les commandes intelligentes sont regroupées dans l'un des cinq domaines de recherches du CRTI. Dans celui-ci, le CRTI soutient les recherches de ces quatre universités sur les sujets suivants.

Systèmes de gestion à base de connaissances

Le professeur Mylopoulos, de l'Université de Toronto, dirige le projet de développement d'un système facilitant la création, l'utilisation et la gestion de grandes bases de connaissances. Le but principal de ce projet est de démontrer qu'on peut implémenter de tels systèmes de façon robuste et efficace par l'adoption de techniques de gestion de bases de données pour la commande de la simultanéité d'exécution, la correction d'erreurs et l'optimisation des interrogations. Telos, un langage de représentation des connaissances, a été conçu pour expérimenter l'implémentation de systèmes de gestion de base de connaissances.

Autre objectif important du projet : l'adaptation des résultats les plus récents de la recherche sur les langages naturels et la représentation des connaissances au développement d'interfaces conviviales pour un système de gestion de base de connaissances. Un dernier objectif, plus théorique, est de progresser dans les domaines de la représentation des connaissances, des langages naturels, de la commande de la simultanéité d'exécution et de l'optimisation des interrogations, raccordés au prototype de système en développement.

Acquisition, synthèse et organisation des connaissances

Le professeur Wong, de l'Université de Waterloo, dirige un projet d'application des techniques pragmatiques à l'acquisition des connaissances, dont l'apprentissage inductif basé sur l'inférence probabiliste, le groupement des données ou des connaissances, et la reconnaissance des configurations, combinés avec les techniques de synthèse des connaissances pour l'application aux bases de données d'images. De telles techniques sont robustes en présence de données bruitées ou d'incertitude; plusieurs entreprises ont participé à leur utilisation dans des systèmes de vision artificielle et de connaissances visuelles.

Récemment, une nouvelle approche de représentation tridimensionnelle de modèles a été mise au point : basée sur les hypergraphes et la modélisation de réseaux de règles, elle peut reconnaître et localiser des objets tridimensionnels complexes dans des environnements encombrés et sans contraintes.

Gestion des systèmes à événements discrets

Les systèmes à événements discrets (SED) se retrouvent dans les systèmes de services et de logistique, la fabrication et les communications, ainsi que dans d'autres domaines, tels que le trafic automobile ou, au niveau de la coordination des tâches, la commande des robots et des procédés.

Le perfectionnement croissant des SED artificiels, rendu possible par la technologie informatique, fait ressortir la nécessité de théories formelles et d'approches de conception systématiques de la gestion des SED. Le projet «Control of Discrete-Event Systems», dirigé par le professeur W.M. Wonham (de Toronto) et le professeur G.K.H. Pang (de Waterloo), vise précisément ces objectifs. La recherche en cours porte essentiellement sur le mode d'exploitation des observations du comportement d'un SED pour sa gestion, et sur la façon de créer systématiquement des modalités de gestion de SED vastes et complexes à partir d'éléments modulaires plus simples.

Les partenaires de l'industrie ontarienne ont stimulé l'orientation précise des efforts de ces projets vers l'étude de protocoles de communication et de systèmes d'information pour la fabrication.

Vision biologique et vision artificielle

Un des buts de ce projet torontois, dirigé par le professeur Tsotsos, assisté des professeurs Jepson et Milios, est d'étudier la reconnaissance des objets en présence d'un bruit de détecteur, d'occlusion ou de déformation des objets. On se sert d'une approche fondée sur les contours pour créer un petit nombre d'hypothèses candidates et décrire la déformation, tandis qu'une représentation d'occupation spatiale est utilisée pour choisir la bonne hypothèse. S'il y a du bruit, il devient difficile de suivre les contours avec exactitude. C'est pourquoi on explore actuellement une méthode basée

sur les champs tangents et la transformée de Hough. Enfin, des extensions aux méthodes de concordance des images de distance tridimensionnelles sont actuellement à l'étude. De tels procédés seront utiles en inspection industrielle.

Un autre objectif consiste à déterminer par quel mécanisme l'attention visuelle sélective peut être implémentée en biologie. Comme les données expérimentales de comparaison ne manquent pas, les chercheurs s'emploient à reproduire le rendement visuel des primates et des humains. On espère ainsi obtenir des systèmes de calcul fonctionnels intégrant des capacités d'attention, absentes des modèles de vision artificielle actuels. Le point le plus important est que l'attention devrait influer sur presque tous les niveaux du traitement visuel, et non seulement sur ceux dits cognitifs comme on le croyait auparavant.

Un troisième objectif est la mise au point d'une représentation appropriée des multiples niveaux de transformation subie par l'information sur le mouvement durant son traitement, en insistant sur une représentation plausible du point de vue biologique. La hiérarchie de mouvement ne sera qu'une partie du processus de vision global qui devra être intégré plus tard à la forme, à la stéréoscopie et à la couleur, entre autres. La contrainte de plausibilité biologique tire son importance de ce qu'elle exige également un calcul efficace au moyen de petites structures de calcul spatialement parallèles.

L'équipe tente de mettre au point un robot utilisant la vision active pour se déplacer de manière autonome entre les différents points d'un grand local industriel. Il saura en tout temps quelle est sa position sur son plan de route; tout en se déplaçant, il évitera tout objet, qu'il soit mobile ou stationnaire. Il pourra reconnaître les objets, tels que les valves ou les jauges, dont la forme et la taille, mais non la situation, seront mémorisées dans une base de données interne. Il pourra aussi produire une carte des contours de toute variable, comme le nombre de décibels, captée dans une portion désignée du local industriel. La vision active est un système qui crée des données de scène par une modification active de la géométrie du système optique ou par un déplacement de ce dernier, plutôt qu'à l'aide de systèmes d'éclairage structurés ou de télémètres au laser. Un système de vision active peut changer la distance focale d'une caméra, la position relative des caméras d'un système binoculaire, ou faire pivoter ou se déplacer les caméras. Le second objectif de ce projet est de donner au robot la capacité d'établir un plan de son environnement, en l'explorant à l'aide de ses détecteurs visuels.

Procédures d'apprentissage pour les réseaux à parallélisme extrêmement élevé

Le professeur Hinton dirige à Toronto un projet de développement de procédés d'apprentissage à réseaux neuronaux plus efficaces, d'application plus généralisée aux tâches réelles, et plus faciles à implémenter dans le matériel biologique ou sur une puce de silicone.

Il a récemment mis au point un procédé d'apprentissage sans supervision capable de repérer les caractéristiques de base indépendantes de temps et d'espace. Cette méthode peut être appliquée à une grande variété de tâches perceptuelles. Elle devrait être beaucoup plus rapide dans les grands réseaux que les méthodes actuelles, car elle permet à plusieurs modules distincts d'apprendre en parallèle, et ce sans interférence.

Le professeur Hinton a aussi mis au point une version efficace de la méthode d'apprentissage automatique de Boltzmann pour les réseaux récurrents d'unités analogiques. Cette méthode est très simple à implémenter dans le matériel analogique. Pour vérifier l'utilité de ces nouveaux procédés d'apprentissage, on les a appliqués à la reconnaissance de la parole. Il s'agit d'un domaine d'application important, dans lequel de nombreuses techniques ont déjà été mises à l'essai. Les réseaux neuronaux à retardement sont actuellement la meilleure technique de discrimination de consonnes similaires. Nous sommes en train de mettre au point de nouveaux types de réseaux neuronaux pouvant traiter efficacement des variations du débit de la parole, du contexte phonétique, de l'intensité sonore et de l'identité du locuteur.

Un autre important domaine d'application est la reconnaissance des figures. Le professeur Hinton a mis au point une méthode efficace pour coder les relations spatiales dans les réseaux neuronaux. Un petit module peut ainsi reconnaître un objet donné de n'importe quel point de vue. La méthode d'apprentissage de l'invariance est actuellement utilisée pour permettre à un réseau auto-organisateur de créer automatiquement ces modules d'objets.

Enfin, une nouvelle méthode a été mise à l'épreuve dans le but de permettre aux opérateurs d'utiliser les réseaux neuronaux pour commander des appareils physiques complexes. Grâce à un gant interface, l'opérateur fournit des données à un réseau

neuronal dont la sortie peut alimenter un synthétiseur de parole.

Études expérimentales et études de calcul des processus de perception visuelle et tactile

Le professeur Browse dirige une équipe interdisciplinaire de l'Université Queen's, composée des professeurs Lederman, Ellis et Blostein; cette équipe étudie divers aspects de la perception visuelle et tactile.

Études de calcul des processus sélectifs de détection

La plupart des systèmes de vision artificielle supposent la disponibilité d'images à résolution uniforme, claires et bien centrées, de la catégorie d'objets concernée. En réalité, la vision humaine doit aligner des processus perceptuels de résolution variable avec les objets recherchés durant le processus de perception. Les systèmes perceptuels pour robots autonomes éprouveront la même difficulté. Dans ce projet, les systèmes mis au point procèdent à un choix intelligent de zones de traitement à l'intérieur d'une image; ils utilisent à cette fin une entrée à résolution graduée dont la structure est similaire à celle de la rétine humaine. Ils choisissent les zones à traiter d'après le contenu en information de l'image, l'état de l'interprétation en cours et les exigences de la tâche.

Études sur l'attention haptique

Ce projet examine quelques caractéristiques fondamentales de la perception haptique humaine. Alors que de nombreuses études avancent des hypothèses sur la nature des unités psychophysiques affectées à la détection visuelle, on sait relativement peu de choses sur l'haptique humaine. Les études proposées poursuivent les recherches sur la nature et l'organisation des propriétés caractéristiques susceptibles d'être utilisées pour la perception haptique. De plus, un programme connexe a entamé l'étude de plusieurs autres aspects de la perception haptique au moyen d'un dispositif nouveau, Q'Hand, conçu spécialement à cette fin. Il automatise la préparation des affichages de stimulus et leur transmission au bout des doigts.

Comme la présentation de ces affichages tactiles est elle aussi automatisée, ils permettent de recueillir au moins huit fois plus de données que les affichages manuels utilisés précédemment. Conséquence importante de cet état de choses, Q'Hand réalise une nette amélioration de la précision des données tactiles recueillies; de plus, il permet aux chercheurs de poser des questions sur l'attention et la reconnaissance haptiques qui auraient été difficiles, sinon impossibles, à aborder auparavant.

Segmentation, surface et reconnaissance des objets

Le système visuel humain est structuré de façon à fournir un traitement perceptuel en parallèle limité à chaque point de la rétine. C'est ce traitement qui permet la segmentation de l'image et la détection des contours. Des expériences récentes sur des humains se sont concentrées sur la détermination de la portée de ces traitements en parallèle afin d'acquérir la compréhension nécessaire à la mise au point de systèmes de vision artificielle d'usage général. Les résultats ont démontré que les capacités humaines de traitement de la segmentation primaire, qui se produit avant même que l'attention n'entre en jeu, peuvent être décrites comme des contraintes sur des batteries de filtres d'images plutôt que comme des propriétés des caractéristiques des images. Des systèmes de segmentation de calcul basés sur ce principe sont en voie de développement. D'autres expériences ont prouvé que la frontière entre les traitements en série et parallèle de la détection tactile humaine présente plusieurs caractéristiques communes avec la vision.

La reconnaissance des objets exige la disponibilité de modèles représentant les objets en question. Le choix de la stratégie représentative doit se faire en fonction du développement de procédés visant à extraire l'information de l'image. Pour ce projet, on a mis au point des variations du système de reconnaissance par éléments de Beiderman. Cette approche considère les modèles d'objets comme des combinaisons d'un petit ensemble fixe de primitives géométriques. Les améliorations apportées par l'équipe de l'Université Queen's incluent l'utilisation de multiples valeurs de résolution et d'algorithmes de concordance plus perfectionnés.

Études théoriques et expérimentales en cognitique

Le professeur Pylyshyn, de l'Université Western Ontario, dirige une équipe composée des professeurs Campbell, Goodale, Gurnsey et Humphrey, qui travaille à la compréhension de certaines caractéristiques de l'attention et du traitement visuels humains. Pour certaines de ces caractéristiques, la vision humaine est à de nombreux égards extrêmement efficace (comme le suivi d'objets mobiles, la perception de la forme et du déplacement tridimensionnel d'objets à partir de champs de structure et de déplacement bidimensionnels, ou la

coordination des mouvements d'extension et de saisie et de l'information visuelle), alors que pour d'autres elle semble présenter des limites (comme le suivi de plusieurs objets indépendants dans un champ de vision contenant des éléments de diversion ayant plusieurs caractéristiques similaires, le calcul mental ou les autres tâches qui font appel à la capacité de la mémoire de travail, la détection de certaines catégories de changements plutôt que d'autres, comme un changement de couleur au lieu d'un changement de luminosité).

Les preuves expérimentales de ces aptitudes perceptivo-cognitives, de même que les modèles et outils de calcul servant à l'examen de ces questions, constituent une base importante pour la conception de systèmes informatiques, de la télérobotique aux interfaces opérateur–machine. Nos travaux, fondamentaux et appliqués, contribuent à la compréhension des forces et des limites du traitement humain de l'information, et donc de la base de la relation entre les aptitudes humaines et celles de la machine.

Application de l'analyse d'images à la poursuite radar des orages

Pour ce projet, les professeurs Pylyshyn, Mercer et Barron, de l'Université Western Ontario, appliquent les techniques d'analyse d'images et d'intelligence artificielle aux prévisions météorologiques. On s'attache particulièrement à la poursuite des tempêtes du sud de l'Ontario sur les données enregistrées à la station radar de King City (Ontario). Une technologie d'intelligence artificielle particulièrement bien établie, les structures de données pyramidales, permet de localiser l'oeil des tempêtes dans les données radar. D'autres techniques d'analyse d'images sont à l'étude.

Les travaux à venir permettront la mise au point d'un système expert de poursuite des orages dans le temps pour les météorologues de King City. Un prototype de ce système a été mis au point et le travail se poursuit sur l'étape d'acquisition des connaissances.

Analyse de mouvement pour un système de vision artificielle

La compréhension du mouvement dans le domaine de la vision artificielle exige que les séquences d'images en deux dimensions soient analysées pour repérer les changements résultant du déplacement tridimensionnel relatif des objets par rapport à l'observateur. Une équipe formée des professeurs Pylyshyn et Barron a conçu un jeu de filtres spatio-temporels mesurant diverses déformations d'objets, comme la translation, la rotation, le tourbillon et le cisaillement, pouvant se produire dans l'image d'une surface fixée assez longtemps. Le mouvement de la surface, ainsi que sa structure locale, peuvent être déterminés malgré ces déformations. En dépit du succès théorique de la formulation de ce problème, la récupération du mouvement et de la structure peut être trop sensible au bruit des données d'entrée de l'image pour être utilisable. On réalise cependant des progrès dans ce domaine.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Vic DiCiccio, Directeur associé
Information Technology Research Center (ITRC)
ITRC Site Office, Davis Centre
University of Waterloo
Waterloo (Ontario)
N2L 3G1
Téléphone : (519) 888-4540
Télécopieur : (519) 885-1208
Courrier électronique : vfdiciccio@ccng.uwaterloo.ca

PRECARN

Mots-clés : Recherche, consortium industriel, préconcurrentiel, liens université–industrie, robotique, systèmes à base de connaissances.

Résumé

PRECARN est un consortium de recherche industrielle créé pour effectuer et promouvoir des travaux de recherche préconcurrentielle et de développement expérimental à long terme dans les domaines de la robotique avancée et de l'intelligence artificielle. Ce consortium regroupe plus de 30 entre variété d'activités économiques dans tout le Canada. Son financement provient des cotisations annuelles et de contributions portant sur des projets particuliers versées par les entreprises membres; il fait appel aux programmes gouvernementaux qui soutiennent ses efforts de recherche. Cet article examine la raison d'être, les objectifs et les réalisations de ce consortium de recherche unique en son genre.

Introduction

Le nom PRECARN est un acronyme pour «PRE-Competitive Applied Research Network» (Réseau de recherche appliquée préconcurrentielle). C'est un consortium industriel de recherche créé pour poursuivre et promouvoir la recherche appliquée (ou préconcurrentielle) à long terme dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la robotique.

Raison d'être

La caractéristique commune de tous les membres est leur conviction de l'importance croissante des technologies de la robotique et de l'intelligence artificielle dans une économie globale en évolution rapide. Toutes les entreprises membres, qu'elles soient utilisatrices ou productrices, sont conscientes des répercussions croissantes de ces technologies sur notre capacité collective à demeurer concurrentiels dans le marché mondial. Elles comprennent donc la nécessité de s'intéresser et de participer activement à tous les aspects de la recherche, de la connaissance de base à l'étape finale du développement d'un nouveau produit.

Les membres de PRECARN reconnaissent une autre réalité. Aucune entreprise, quelle que soit son importance, ne peut à elle seule être tout à fait efficace dans tous les aspects de la recherche. C'est particulièrement vrai pour ce qui est de la recherche préconcurrentielle, ce secteur d'activité qui s'appuie sur des connaissances de base nouvelles sans en connaître encore les applications possibles, à court ou à long terme. C'est le besoin d'une action collective dans le domaine préconcurrentiel qui a amené les membres de PRECARN à s'associer, tout comme il a suscité la formation de tels consortiums dans le monde entier. Un grand nombre de ces autres consortiums sont limités à un seul secteur industriel; PRECARN, toutefois, poursuit un programme portant sur la technologie en général, reconnaissant que les applications de l'intelligence artificielle et des systèmes robotiques peuvent profiter à toute l'industrie. Cette approche collective assurera non seulement un usage plus efficace des subventions de recherche, quelles que soient leur source, mais aussi une meilleure utilisation des efforts du secteur de la recherche, dont les effectifs insuffisants sont aussi trop éparpillés.

Objectifs

L'objectif premier de PRECARN est de faire profiter le Canada d'une plus grande prospérité économique par une compétitivité industrielle accrue. Pour y arriver, nous devons augmenter les capacités de récepteur de l'industrie relativement aux connaissances nouvelles sur l'intelligence artificielle et la robotique, ainsi qu'à leurs nouvelles applications. En fait, c'est après s'être rendu compte que les industries canadiennes avaient besoin de renforcer cette capacité de récepteur que l'Institut canadien des recherches avancées (ICRA) a entrepris ce qui allait éventuellement aboutir en 1987 à la fondation de PRECARN par un groupe de 22 entreprises canadiennes.

Le programme de recherches de PRECARN est l'outil principal pour le développement de cette «capacité de récepteur» et pour la réalisation des objectifs suivants :

- Rassembler les utilisateurs et producteurs de cette technologie dans le secteur privé.
- Susciter une coopération efficace et durable entre les universités et l'industrie.
- Identifier les besoins, problèmes et perspectives à long terme de l'industrie.

En outre, PRECARN cherche à développer un mécanisme d'exploitation hautement efficace pour permettre aux membres de profiter du résultat de ces recherches. Pour encourager cela, sa politique sur la propriété intellectuelle offre sans frais à tous les membres les droits de licence sur la technologie résultant des projets financés par PRECARN.

Enfin, pour financer ce programme de recherche, PRECARN essaie d'utiliser l'effet de levier du financement provenant du secteur privé pour obtenir le maximum de subventions d'État dans le cadre des programmes de subventions à la recherche présents ou à venir.

Organisation et structure

PRECARN est actuellement constitué de 34 entreprises canadiennes oeuvrant dans divers secteurs de l'économie canadienne, dont :

- Mines et traitement des minerais,
- Pétrole et gaz,
- Compagnies d'électricité,
- Télécommunications,
- Industrie aérospatiale,
- Électronique et informatique,
- Instituts de recherches fédéraux et provinciaux.

On compte parmi les membres des utilisateurs et des producteurs de technologie de l'intelligence artificielle et de la robotique. Une liste des membres actuels se trouve à la fin de ce rapport.

La structure de gestion de PRECARN se compose d'un conseil d'administration, d'un comité de direction, d'un président-directeur général et d'un vice-président secondés par une petite équipe et par quatre comités consultatifs. Les membres fondateurs ont exigé d'être largement représentés au conseil d'administration. C'est pour cette raison que le nombre des administrateurs, nommés à partir d'un système de roulement, a été fixé à 25.

Les membres ont aussi voulu que PRECARN soit un institut de recherche ouvert, semblable à cet égard à l'ICRA. Les projets de recherche de PRECARN feront normalement l'objet d'une collaboration entre les organisations membres et les laboratoires de recherche universitaires ou gouvernementaux. Ainsi, PRECARN fonctionnera avec un personnel restreint et utilisera au mieux ses fonds pour la recherche.

Les quatre comités consultatifs de PRECARN constituent le mécanisme-clé qui permettra à l'entreprise d'atteindre ses objectifs de coordination, d'évaluation, de partage et d'exploitation de la recherche. Les membres de ces comités sont nommés par le conseil d'administration, qui les choisit d'abord chez les entreprises membres. Dans le cas du comité consultatif technique, le choix se fait parmi l'ensemble du milieu canadien de la recherche.

Ces comités, qui rendent compte au conseil d'administration, remplissent les rôles suivants :

- *Politique et planification* : Élaboration et mise à jour des plans à long terme de l'organisme.
- *Vérification et évaluation* : Préparation des vérifications et des rapports financiers appropriés et vérification complète de la gestion de tout le système.
- *Exploitation* : On pourrait considérer ce comité comme le service de commercialisation d'une entreprise conventionnelle. Il établit et contrôle le progrès des divers procédés de détermination rapide des résultats exploitables.
- *Technique* : C'est le comité le plus important, il est de nombreux égards le coeur des activités de PRECARN. Pour résumer, disons que son rôle est de concevoir, recommander, réviser et évaluer le programme de recherches.

Le programme de recherches

Le but de PRECARN est de développer un vaste programme de recherche sur l'intelligence artificielle et la robotique dans les domaines d'application les plus susceptibles d'être exploités par ses entreprises membres. Ce programme de recherche devrait faire appel aux forces combinées des laboratoires de recherche universitaires, gouvernementaux et industriels, tout en renforçant les liens qui les unissent. L'intérêt principal de PRECARN à long terme est la recherche préconcurrentielle dont les résultats, en termes de connaissances, procédés, etc., sont d'intérêt universel et pourront ensuite être adaptés ou développés en vue d'applications précises.

C'est par un concours en deux étapes que PRECARN détermine et choisit les projets de recherche pour son programme global. Tout d'abord, une demande de propositions est publiée, invitant les candidats à soumettre le sommaire descriptif de projets de recherche correspondant aux objectifs de PRECARN, ainsi qu'une proposition détaillée d'étude de faisabilité. Des fonds sont ensuite affectés aux projets choisis pour l'étape d'étude de faisabilité jusqu'à un maximum de 100 000 $. Le nombre exact d'études de faisabilité acceptées dépend du bien-fondé et de la pertinence des propositions, aussi bien que des fonds disponibles. Ces études doivent être achevées en six à neuf mois et inclure la préparation d'une proposition détaillée

de recherche. Les critères obligatoires sont les suivants :

- Porter sur l'intelligence artificielle ou la robotique,
- Avoir le potentiel de générer de nouveaux revenus au Canada,
- Contribuer à la capacité de l'industrie canadienne de recevoir, comprendre et appliquer les nouvelles technologies d'intelligence artificielle et de robotique,
- Etre à long terme,
- Avoir au moins deux parrains membres de PRECARN,
- Développer des rapports fructueux et durables entre les universités et l'industrie.

La seconde étape consiste à choisir parmi les études de faisabilité réalisées les projets de recherche qui, selon PRECARN, sont les plus susceptibles de bénéficier à ses membres. PRECARN commence alors à préparer une formule d'aide financière constituée de ses propres subventions, de celles des membres de PRECARN ayant des intérêts particuliers dans le projet et de celles du gouvernement. Une fois approuvés, les projets de recherche devraient se dérouler sur trois à cinq ans; au cours de cette période, PRECARN organise des séances d'information et des ateliers ouverts à tous les membres pour les informer des progrès et des résultats obtenus dans le cadre de ce projet. Toute propriété intellectuelle générée durant un projet sera négociée individuellement à la conclusion du projet; mais dans tous les cas, les membres à part entière de PRECARN jouiront gratuitement des droits de licence.

Réalisations à ce jour

La première et peut-être la plus importante réalisation de PRECARN a été de rassembler 34 entreprises ayant assez de discernement et de motivation pour soutenir les objectifs de PRECARN. La cotisation annuelle de chaque entreprise est de 25 000 $; de plus, elles contribuent temps, efforts et argent au conseil d'administration et aux quatre comités permanents, sans compter leur participation aux projets de recherche eux-mêmes.

La seconde réalisation de PRECARN a été la négociation d'une convention d'adhésion portant sur des sujets délicats, notamment la possession de la propriété intellectuelle. Cette convention a été examinée et acceptée par les contentieux des 34 entreprises membres et révisée définitivement par le Bureau de la politique de concurrence du gouvernement fédéral.

La troisième, le Programme de recherche de PRECARN, a été entrepris en janvier 1988 par le biais d'une demande de propositions de recherches. Des 28 propositions soumises, un premier groupe de sept a été choisi en avril 1988 pour la subvention de l'étude de faisabilité. Deux autres ont ensuite été approuvées, portant à 884 000 $ l'investissement total de PRECARN au titre des études de faisabilité. Six études ont été achevées en juin 1989; en septembre, le conseil d'administration en a sélectionné quatre pour le programme de recherche, qui devrait commencer au début de 1990. D'autres projets, choisis parmi les dernières études de faisabilité, devraient commencer plus tard en 1990, portant l'effort total de recherche à plus de sept millions de dollars par an pour les cinq prochaines années. PRECARN prépare déjà les prochains cycles de demandes de propositions de recherche et d'études de faisabilité. Dans quelques années, le budget annuel du programme de recherches de PRECARN pourrait atteindre 15 millions de dollars.

Mentionnons également l'engagement financier que PRECARN a obtenu jusqu'ici de l'industrie et du gouvernement. Par leurs cotisations et leurs contributions en nature, les membres de PRECARN ont déjà investi près de quatre millions de dollars dans ce nouveau consortium. PRECARN continuera à financer le programme d'études de faisabilité, la gestion globale et un fonds de prévoyance pour les projets. Les membres individuels contribueront aussi au moins 25 % du coût de chaque projet de recherche. Les gouvernements fédéral et provinciaux contribuent au programme de recherche de PRECARN par la participation aux projets de nombreux laboratoires de recherche gouvernementaux et par des subventions à l'ensemble du programme. Un accord de subvention a été conclu avec le Conseil national de recherche aux termes de son Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI); cet accord a déjà permis de financer en partie certaines études de faisabilité, ainsi que l'administration de certains projets. L'aide globale de cette source pourrait atteindre un million de dollars par an. Un autre accord est intervenu avec Industrie, Sciences et Technologie Canada, dans le cadre du Programme de technologies stratégiques, pour une aide financière pouvant aller jusqu'à 10 millions de dollars sur cinq ans. De plus, PRECARN recherche toujours l'aide des provinces qui, vraisemblablement, prendra deux formes : une aide financière pour permettre aux petites et moyennes entreprises de se joindre à PRECARN, et le soutien de projets

précis. Déjà, l'Alberta et la Colombie-Britannique ont choisi la première forme d'aide et prendront en charge jusqu'à 50 % de la cotisation à PRECARN des entreprises admissibles.

Une cinquième réalisation de PRECARN a été l'établissement de liens solides avec le milieu canadien de la recherche universitaire. La preuve la plus évidente en est sans doute l'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS), un programme de recherche d'envergure nationale sur les systèmes intelligents, administré par PRECARN, regroupant plus de 120 chercheurs universitaires et rassemblant toutes les sommités canadiennes en IA et en robotique. L'IRIS est l'une des quatorze propositions sélectionnées par le programme fédéral de Réseaux de centres d'excellence.

Conclusion

PRECARN est une organisation de recherche encore jeune, fondée sur le principe voulant qu'un consortium industriel favorisant les rapports entre les universités, les laboratoires gouvernementaux et l'entreprise puisse fournir à l'industrie les connaissances et les outils nécessaires pour demeurer compétitive dans l'économie actuelle, d'envergure mondiale et fortement axée sur la technologie.

Certains considèrent PRECARN comme une expérience; il est vrai que PRECARN a dû presque toujours ouvrir la voie, mais jusqu'ici, les résultats sont extrêmement encourageants. L'industrie et le gouvernement ont démontré, par leurs contributions au programme, leur soutien à ce concept. Les rapports essentiels entre les universités et l'industrie ont débouché sur une participation active des chercheurs universitaires à tous nos projets et sur la proposition d'IRIS.

Le réseau et les relations ont été établis, les bases du financement sont en place, et les premières études ont été réalisées. PRECARN entre maintenant dans l'étape principale de son développement : le programme de recherche lui-même.

Membres de PRECARN

- Alberta Research Council
- Alcan international Limitée
- British Columbia Advanced Systems Foundation (BCASI)
- British Columbia Hydro
- Bristol Aerospace Limited
- CAE Electronics Limited
- Canadian Marconi Company Limited
- Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM)
- Commission électrique du Nouveau-Brunswick
- Conseil national de la recherche du Canada
- EBCO Industries Limited
- Énergie atomique du Canada, Limitée
- Falconbridge Limited
- Hatch & Associés Inc.
- W.G. Hutchison & Company Limited
- Hydro Ontario
- Hydro-Québec
- Inco Limitée
- Institut canadien des recherches avancées (ICRA)
- Lac Minerals Limited
- MacDonald Dettwiler and Associates (MDA)
- Manalta Coal Limited
- Microtel Pacific Research Limited
- MPB Technologies Inc.
- Noranda Inc.
- Oerlikon Aérospatiale Inc.
- ORTECH International
- Petro-Canada Ressources
- Recherches Bell-Northern
- Shell Canada
- H.A. Simons Ltée.
- Spar Aérospatiale Limitée
- Stelco Inc.
- TransAlta Utilities Corporation
- TransCanada Pipelines
- Xerox Research Centre of Canada

Liste de projets

- Système de développement de télérobotique
  MPB/Hydro-Québec/CAE/CRIM/Université McGill/ICRA
  Approuvé pour l'étape de recherches

- Plate-forme robotique mobile pour terrain accidenté
  MDA/BCASI/Université de Colombie-Britannique
  Étude de faisabilité terminée

- Navigation active d'un robot mobile dans un environnement connu
  Hydro Ontario/EACL/CNR/Université de Toronto/Université York
  Approuvé pour l'étape de recherches

- Commande robotique intelligente pour la perforation des roches et la manutention du minerai
  Inco/Falconbridge/Université McGill/École Polytechnique de Montréal
  Approuvé pour l'étude de faisabilité

- Système expert évolué en temps réel
  MPB/Noranda/CNR/Université de Colombie-Britannique/Université de Waterloo/Université Queen's/Université d'Ottawa/Université du Nouveau-Brunswick
  Approuvé pour l'étape de recherches

- Applications des systèmes experts à la gestion de procédés évoluée
  Hydro Ontario/CAE/Université de Toronto
  Approuvé pour l'étape de recherches

- Environnement pour le développement de systèmes intégrés intelligents d'entretien prévisionnel
  Hydro-Québec/Alcan/CRIM/ Université McGill
  Étude de faisabilité terminée

- Application de l'IA à la conception technique
  Spar/Bristol/Marconi
  Étude de faisabilité terminée

- Interface graphique intelligente de contrôle et de commande en temps réel
  MPB/BCASI/Université Simon Fraser
  Étude de faisabilité terminée

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

G.M. MacNabb, Président et directeur général
PRECARN Associates Inc.
30, chemin Colonnade, bureau 300
Nepean (Ontario)
Téléphone : (613) 727-9576
Télécopieur : (613) 727-5672

Le réseau l'Institut de robotique et d'intelligence de PRECARN

L'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS) est l'un des 14 réseaux de recherche récemment sélectionnés par le gouvernement fédéral du Canada dans le cadre du nouveau Programme des réseaux de centres d'excellence évalué à 240 millions de dollars.

IRIS est un effort concerté entre le milieu de la recherche universitaire et le secteur privé. Il rassemble en un seul réseau d'envergure nationale les meilleurs chercheurs dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la robotique avancée, y compris les chercheurs de l'Institut canadien des recherches avancées. IRIS est dirigé par PRECARN, un consortium industriel pour la recherche préconcurrentielle en IA et en robotique, et administré comme un élément indépendant du réseau de recherche industrielle de PRECARN, tout en utilisant les mêmes méthodes pour l'examen des projets et la diffusion des connaissances.

Le programme de recherche d'IRIS comprend 22 projets dans trois domaines différents : perception machine, systèmes à base de connaissances et unités robotiques intelligentes. Le programme, d'une durée de quatre ans, bénéficie d'une subvention fédérale de 23 millions de dollars. Plus de 100 chercheurs de tout le Canada y participent.

La description suivante de l'ensemble du programme de recherche et de ses 22 projets est extraite de la présentation originale d'IRIS.

La portée du programme de recherche

Le programme de recherche envisagé par IRIS englobe trois domaines principaux : Domaine A, la perception machine; Domaine B, les systèmes à base de connaissances; Domaine C, les systèmes robotiques intelligents. Dans ce contexte, un système robotique intelligent est un système dans lequel les sorties de capteurs multidimensionnels sont fusionnées en temps réel par des moyens de calcul, puis utilisées par une base de connaissances interne et complétées par le niveau désiré de supervision humaine, pour alimenter les actionneurs afin qu'une machine ou un système accomplisse la tâche désirée. Cette définition inclut donc un éventail de systèmes experts et robotiques; cependant, il est clair que l'un des objectifs à long terme de ce projet est de développer des unités robotiques intelligentes capables de travailler dans des environnements non structurés et dans des conditions très défavorables telles que celles prévalant dans nos industries du secteur primaire. Les progrès accomplis vers cet objectif auront des effets importants sur l'efficacité, et par conséquent sur la compétitivité, des secteurs canadiens de la fabrication, des transports, des services et des ressources, comme il est mentionné plus loin dans cet exposé.

Domaine A : Perception machine

Ce domaine se concentre sur la nécessité pour un robot intelligent de percevoir son environnement. La recherche dans la perception machine exige l'incorporation des théories sur la perception à la conception et à l'implémentation des systèmes. Ces implémentations, tant pour le logiciel que pour le matériel, sont aussi la base du développement de la technologie de l'automation, de la télérobotique, de la télédétection et des applications biomédicales.

Les principaux sujets de recherche proposés sont la vision artificielle (Projets A1–A6), la détection tactile (A2, A4), la détection tridimensionnelle (A4, A5), la perception auditive (A3, A7) et l'intégration sensorielle (A2–A6). La difficulté, en vision artificielle, est l'inférence de descriptions de scènes à partir d'images présentées sous diverses formes. Les applications en robotique, en télérobotique et en télédétection exigent des solutions à ce problème. Le travail de recherche fait appel à la connaissance de la projection, des contours, de la stéréoscopie, de l'échelle, du mouvement, de la couleur et de la surface, ainsi que de modèles d'objets, afin d'obtenir des descriptions de scènes utiles. Il faut également résoudre des problèmes de mathématiques, de physique, de calcul et d'architecture pour pouvoir développer des systèmes fiables à haute performance pour ces applications. Par exemple, les mathématiques de la géométrie différentielle, la physique de la formation des images, les algorithmes de concordance de figures, et l'usage de détecteurs de conception nouvelle et d'architectures parallèles seront tous examinés. Cette recherche permettra le développement d'applications telles qu'un système de réaction visuelle basé sur un modèle en télérobotique (A1) et des systèmes de navigation pour robots mobiles (A6). De telles applications exigent de nouvelles représentations des objets et de l'agencement spatial, une vision active, des conceptions nouvelles de détecteurs et de processeurs (A1, A2, A4, A5), ainsi que l'intégration sensorielle, c'est-à-dire la fusion de l'information de différents types de détecteurs

tels que les caméras de télévision, les télémètres au laser et les détecteurs tactiles d'effort.

Domaine B : Les systèmes à base de connaissances

Des percées dans la technologie du matériel et du logiciel informatiques ont permis la mise au point de systèmes manifestant une certaine forme d'intelligence dans l'exécution d'une tâche, allant du diagnostic médical à la conception d'installations informatiques et à l'interprétation des données géologiques. Le noyau de ces systèmes experts est constitué d'une base qui emmagasine les connaissances relatives au domaine d'application (médecine, génie informatique ou géologie) et d'un moteur qui génère des inférences à partir d'un groupe de données d'entrée en utilisant le contenu de la base de connaissances. Des recherches considérables ont eu lieu depuis quelques années sur les propriétés formelles de la connaissance, la caractérisation formelle des formes de raisonnement, les structures de données et les algorithmes nécessaires à la gestion de la base de connaissances.

Les principaux sujets de recherche sont les suivants :

- *Gestion de la base de connaissances* : Comment construire, utiliser et entretenir une grande base de connaissances, comment optimiser les interrogations, comment donner simultanément accès à la base de connaissances à divers utilisateurs (Projet B3).

- *Raisonnement* : L'étude de différents types de raisonnements : non monotonique, probabiliste et abductif, ainsi que le développement d'implémentations efficaces des mécanismes d'inférence pour la programmation logique et la programmation logique par contraintes (Projets B5 et B6).

- *Interfaces humaines* : Comment construire divers types d'interfaces entre une base de connaissances et ses utilisateurs, incluant le module frontal en langage naturel, les interfaces de traitement de la parole et des textes, et les interfaces graphiques (Projet B2).

- *Application des bases de connaissances à la conception de systèmes d'information intelligents* : Ce projet aura pour but de faciliter le développement de systèmes d'information et la mise au point de systèmes plus efficaces en utilisant la représentation des connaissances (nouveaux langages de conception) et les bases de connaissances (systèmes experts de conception), tout en considérant un système d'information comme un système à base de connaissances qui raisonne selon ses connaissances en acceptant des informations nouvelles et en répondant aux questions (Projet B1).

Domaine C : Systèmes robotiques intelligents

La recherche dans ce domaine s'attaque aux nombreuses difficultés qui limitent actuellement l'usage des dispositifs robotiques aux actions répétitives préprogrammées dans des environnements relativement favorables. Les neuf projets de recherche sélectionnés par IRIS et PRECARN dans ce domaine ont pour objectif commun d'utiliser et d'enrichir les résultats des recherches dans les domaines A et B pour en arriver au point où les dispositifs télérobotiques et, éventuellement, les dispositifs robotiques autonomes, pourront travailler efficacement même dans les environnements les plus hostiles : dans l'espace, sous l'eau, dans nos mines et nos forêts. Cet objectif final des systèmes robotiques intelligents va bien au-delà de la limite de quatre ans de cette présentation, mais ces projets vont nous faire franchir une distance considérable vers cet objectif par la construction de prototypes et l'attaque des défis les plus immédiats.

Domaine A : Perception machine

A1 : Des systèmes de vision pour la reconnaissance, le suivi et la navigation

Chef de projet : D[r] A.K. Mackworth

Le but de ce projet est la mise au point de systèmes de vision fiables et efficaces pour la reconnaissance, la localisation, l'inspection et le suivi d'un objet, et pour la navigation. Ceci exige le développement d'algorithmes robustes pour une vision primaire, implémentée sur un matériel spécialisé, de représentations et d'algorithmes intermédiaires nouveaux pour les cartes de profondeur et d'orientation, et de nouveaux algorithmes de représentation des objets et d'appariement des figures pour les objets articulés, recourbés et souples. Ces systèmes seront utilisés en robotique, en télérobotique et dans des applications de compréhension des diagrammes.

A2 : Recherche en perception humaine et automatique pour la télérobotique de pointe

Chef de projet : D[r] S. Lederman

Les robots télécommandés sont des manipulateurs robotiques à opérateur humain généralement utilisés dans des environnements dangereux, par exemple

sous la mer, dans l'espace et dans les réacteurs nucléaires. L'opérateur humain intervient dans le fonctionnement de ces dispositifs, surtout parce que la science de la robotique et de l'intelligence artificielle n'est pas suffisamment évoluée pour permettre le développement de robots autonomes pour de telles applications. Pour faire fonctionner ces robots télécommandés dans un éventail de situations, y compris des tâches complexes et délicates, il est nécessaire de développer des systèmes de soutien de la perception machine; il est également nécessaire de comprendre la capacité de l'opérateur humain à réagir à l'information transmise par le robot.

Les membres du laboratoire de robotique et de perception de l'Université Queen's possèdent des connaissances techniques dans les aspects de calcul de la perception tant tactile que visuelle, de la robotique (incluant le facteur de réflexion du contrôle et de l'effort), et des facteurs humains, ainsi que de la psychologie et la psychophysique des perceptions visuelle et tactile humaines. Ce sont là les éléments-clés d'un projet de recherche coordonnée concentré sur les besoins perceptuels de l'opération télérobotique. Dans le cadre de ce projet, nous mettrons au point une installation commune pour expérimenter sur le facteur de réflexion de l'effort, les systèmes de soutien de la perception tactile et visuelle, l'intégration intersensorielle, l'affichage graphique de résultats de calcul et les facteurs humains.

A3 : Architectures de traitement sensoriel

Chef de projet : D[r] M.S. Cynader

Les systèmes robotiques intelligents devront être capables de combiner des entrées sensorielles de diverses sources afin de procéder à une lecture efficace de leur environnement. L'image sensorielle brute contient des informations qu'il faut traiter et reconfigurer pour permettre des inférences au sujet des trajectoires et de la situation des objets et des surfaces dans l'espace tridimensionnel. La recherche suggérée ici est toute nouvelle; elle bénéficie de façon privilégiée du réseau auquel elle est intégrée. En reliant les connaissances de la vision biologique et de la modélisation neuronale du groupe de Cynader aux capacités informatiques d'autres éléments du réseau, nous comptons profiter d'une synergie exceptionnelle entre différentes approches de problèmes communs. Cette synergie se manifeste déjà dans l'article récent de Nature, par le groupe de Cynader et Steven Zucker, participant-clé au module IRIS de l'Université McGill.

A4 : Perception multisensorielle

Chef de projet : D[r] M.D. Levine

Le but du projet sur la perception multisensorielle est d'examiner comment on peut élaborer des modèles de l'environnement à partir des données des détecteurs. Puisqu'il faut d'abord comprendre la façon dont les détecteurs peuvent être utilisés pour percevoir leur environnement, le projet constitue une étape nécessaire de la construction de systèmes robotiques capables d'interaction et d'adaptation à l'environnement. Cette perception se rapporte non seulement à l'identification d'objets, mais aussi à la modélisation de leurs propriétés physiques. Par exemple, pour saisir un objet ou pour éviter d'entrer en collision avec lui, le robot doit posséder des notions de la taille et de la forme de l'objet. Mais un détecteur tel qu'une caméra de télévision ou un télémètre au laser ne peut en mesurer la taille et la forme qu'à partir de l'information codée dans les données des détecteurs. De plus, cette perception doit être robuste et se rattacher à une grande variété de propriétés physiques. C'est pour cette raison qu'une approche multisensorielle a été adoptée.

A5 : Vision artificielle tridimensionnelle : Architectures de détection, de traitement et d'interprétation

Chef de projet : D[r] D. Poussart

Ce programme de recherche est concentré sur la vision artificielle 3D, élément-clé du développement de machines perfectionnées pour la fabrication. Il comporte trois domaines : (1) l'étude de la détection 3D et le développement de détecteurs intelligents, (2) le traitement des images 3D, en particulier l'intégration de la vue 3D, l'analyse de structures 3D, et la fusion de la distance et des autres informations visuelles, et (3) l'application de la vision artificielle à l'industrie et à la biomédecine.

Le principal objectif de ce programme est le développement d'éléments et de systèmes robustes de vision susceptibles d'être implémentés et utilisés dans l'industrie : il repose en partie sur l'application de principes d'organisation connus en vision biologique.

A6 : La vision active dans la navigation d'un robot mobile

Chef de projet : Dr J. Tsotsos

Le but de ce projet est de développer la technologie de vision active requise pour la navigation d'un robot mobile et l'exploration d'environnements inconnus. Selon le paradigme de la vision active, le processus d'acquisition et d'interprétation des images est un processus de boucle fermée, dans lequel l'information extraite est utilisée pour améliorer l'acquisition d'images, par exemple par la commande des paramètres de la caméra, ainsi que le traitement primaire. Nous utiliserons la navigation du robot mobile comme un banc d'essai pour le développement de systèmes nouveaux de vision active. En même temps, nous mettrons au point des représentations spatiales et des mécanismes de raisonnement pour la planification du parcours du robot mobile et la mise au point de cartes cognitives par l'exploration. Dans le cadre de la recherche sur la vision active, nous élaborerons des algorithmes pour une fusion robuste de l'information tirée d'images obtenues par différents types de traitement, comme la profondeur à partir de la stéréoscopie, du mouvement ou de la mise au point.

Le projet proposé par IRIS est complété par un projet associé de PRECARN intitulé «Robotique mobile», administré en coopération par Hydro Ontario et Énergie atomique Canada Ltée. Ce projet visera l'implémentation d'un prototype de travail apte à fonctionner dans des environnements dangereux. Par contre, le projet IRIS proposé mettra l'accent sur la recherche sur la vision artificielle de base et utilisera la navigation du robot mobile comme banc d'essai pour obtenir de nouveaux résultats en vision active.

A7 : Génération et perception auditive des signaux de parole

Chef de projet : Dr R. De Mori

L'objectif de la recherche proposée est l'examen de nouvelles théories sur la modélisation d'unités de parole, l'accès lexical par dialogue en parole continue entre humains et robots et les architectures de soutien. Les paradigmes généraux d'accès vocal à l'information seront examinés en apportant une attention particulière aux moyens d'extraire une information pertinente d'expressions de forme syntaxique libre contenant des mots absents du vocabulaire ordinaire. Un modèle mathématique de l'oreille, couplé à des réseaux multicouches, sera développé à cette fin.

L'amélioration de l'intonation dans la synthèse de la parole est un autre objectif de la recherche. Elle examinera les façons d'extraire de l'information linguistique d'un texte à dire, afin de concevoir des modèles améliorés d'intonation.

Domaine B : Les systèmes à base de connaissances

B1 : Conception d'un grand système d'information

Chef de projet : Dr J. Mylopoulos

Le but de ce projet est de développer un environnement informatisé favorable à la mise au point, la conception, l'implémentation et l'entretien de grands systèmes d'information. Quatre groupes principaux de recherche participent au projet, chacun se concentrant sur un aspect différent de la conception d'un système d'information, à savoir le prototypage rapide, la récupération des logiciels, les installations du métasystème et les systèmes d'information opérateur–machine intégrés. Le projet prévoit le développement d'environnements prototypes présentant les caractéristiques envisagées, et aussi l'étude de la manière dont elles facilitent le développement d'importants systèmes d'information.

B2 : Utilisation de l'apprentissage connexionniste pour les interfaces adaptatives

Chef de projet : Dr G.E. Hinton

Les réseaux neuronaux simulés sont composés de simples éléments de calcul semblables aux neurones et donc très interconnectés. Les procédés d'apprentissage modifient les forces de connexion et permettent donc d'apprendre aux réseaux à interpréter les données entrantes et à générer des réponses complexes. Depuis quelques années, d'importants progrès ont été enregistrés dans le domaine des techniques d'apprentissage, permettant aux réseaux de développer leurs propres représentations internes; cependant, ces nouveaux procédés d'apprentissage n'ont pas encore été appliqués à une catégorie importante d'applications. S'il faut procurer la maîtrise d'une grande largeur de bande à un dispositif complexe, il est très important d'utiliser une mise en correspondance «compatible» avec les mouvements de la personne et le comportement du dispositif. Dans la plupart des dispositifs, la mise en correspondance est fixée par le concepteur. Il pourrait cependant être

possible de construire des dispositifs dans lesquels la mise en correspondance s'adapterait automatiquement, de telle sorte qu'une personne pourrait la commander de la façon la plus naturelle. De telles interfaces adaptatives pourraient être utilisées pour concevoir une mise en correspondance compatible et faire en sorte que celle-ci s'adapte à différents utilisateurs. La recherche examinera l'usage des procédés d'apprentissage automatique dans la conception de mises en correspondance compatibles.

B3 : Techniques de bases de données pour la gestion des bases de connaissances

Chef de projet : Dr A.O. Mendelzon

Supposons une entité à capteurs utilisant une base de connaissances pour diriger l'opération d'un système dans des circonstances variables. Quelles sont les exigences de cette base de connaissances? D'abord, elle doit pouvoir emmagasiner un grand nombre de faits atomiques sur le domaine, et mettre les faits pertinents à la disposition de ses entités clientes d'une façon efficace, en réponse aux interrogations. Dans les applications robotiques, ces faits comprennent normalement un grand nombre d'informations spatiales et temporelles. Outre les faits atomiques, la base de connaissances devra mémoriser des informations plus générales, telles que les règles et les contraintes, et pouvoir tirer des inférences plausibles et opportunes de ces règles, contraintes et faits, et ce même si les connaissances disponibles sont insuffisantes pour justifier pleinement ces inférences du point de vue logique. Pour rester en contact avec l'environnement variable, la base de connaissances doit être tenue à jour par le traitement et l'intégration des faits rapportés par les capteurs de l'appareil, résolvant toute inconsistance entre les connaissances nouvelles et les anciennes. Comme de nombreuses tâches exigeront la coopération de plusieurs entités, la base de connaissances devra être simultanément accessible à toutes et capable d'arbitrer les conflits créés par la consultation et la mise à jour simultanées. Enfin, l'intégrité de la base de connaissances devrait, pour être fiable, être indifférente aux défaillances de l'équipement ou de la programmation.

Ce projet met surtout l'accent sur l'application et l'extension de techniques et de résultats de la technologie des bases de données à la construction de systèmes capables de gérer ces bases de connaissances. Nous travaillerons en particulier sur les sujets suivants : langages de représentation des connaissances, langages d'interrogation basés sur des graphes, traitement efficace des interrogations et stratégies spécialisées de raisonnement, interfaces de l'utilisateur, contrôle de la simultanéité, langages de programmation pour bases de connaissances, et gestion des données géométriques et temporelles.

B4 : Conception d'interfaces humaines

Chef de projet : Dr N. Cercone

Le projet de conception d'interfaces humaines est destiné à faire partie d'un projet plus vaste appelé Systèmes à base de connaissances dans un Réseau de centres d'excellence appelé Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS). L'IRIS comprendra aussi des examens de projet en réseau sur les systèmes de perception machine et de robotique intelligente. Le projet de conception d'interfaces humaines se concentrera sur l'examen et l'intégration de l'interaction humaine aux systèmes d'information, incluant graphes, texte, parole et langage naturel. La technologie de l'information est à ce point disponible et d'apparence tellement diversifiée qu'un effort national cohérent pour découvrir et utiliser les meilleurs résultats de la recherche actuelle sur les interfaces humaines pourrait assurer le Canada d'un domaine de compétence bien défini et très utile. La conception, qu'on peut définir comme l'interaction entre la compréhension et la création, doit être comprise si l'on veut acquérir une base théorique pour le développement technologique des interfaces humaines. Il existe des principes d'interaction humaine non encore appliqués pour permettre aux utilisateurs d'avoir facilement accès à l'abondance des systèmes d'information déjà existants. Une interface bien conçue et intégrée exploitera efficacement sa connaissance du domaine et ses capacités de raisonnement pour faciliter l'interaction avec les utilisateurs.

B5 : Bases des systèmes de raisonnement

Chef de projet : Dr R. Reiter

Le Canada possède de très vastes compétences dans les recherches sur les bases du raisonnement automatisé, notamment des connaissances mondialement reconnues de la déduction et du raisonnement sur le temps et l'action, le raisonnement par défaut, le raisonnement analogique, l'apprentissage par recherche d'explications, le raisonnement hypothétique et le raisonnement probabiliste.

Le but de ce projet est de favoriser et d'encourager activement l'échange d'idées et d'expériences permettant une compréhension plus profonde d'une éventuelle théorie unifiée sur le raisonnement automatisé qui intégrerait les théories de raisonnement sur l'action, le temps, les défauts, les croyances, l'analogie, l'apprentissage, les hypothèses et la probabilité.

Le but ultime est de réduire le fossé entre ces différents modèles théoriques d'aspects du raisonnement de sens commun et d'encourager la recherche d'une théorie intégrée qui ouvrira la voie à une théorie générale de la représentation et du raisonnement de l'intelligence artificielle.

B6 : Applications techniques de programmation logique par contraintes

Chef de projet : Dr M.H. vanEmden

Une manière efficace de rendre les ordinateurs plus «intelligents» est de rendre inutile la spécification du mode d'exécution d'une tâche; il suffirait de dire ce qui doit être fait.

Une méthode partielle pour atteindre cet objectif serait de programmer par «contraintes», ne précisant que les propriétés du résultat désiré du calcul. La programmation logique, méthode sur laquelle est basé le langage de programmation Prolog, est essentiellement fondée sur les contraintes. Toutefois, Prolog ne s'applique qu'à des contraintes symboliques, pouvant être satisfaites par une recherche.

Un nouveau développement, la programmation logique par contraintes, repousse cette frontière en permettant aux programmes logiques d'inclure des contraintes numériques devant être résolues par des méthodes spécialisées. Le projet proposé consiste à examiner des applications en génie, telles que la conception assistée par ordinateur et la commande de bras robotiques.

Domaine C : Systèmes robotiques intelligents

C1 : Télérobotique : Dynamique et commande

Chef de projet : Dr Y. Stepanenko

Le but principal de ce projet est de développer des systèmes de commande intelligents présentant une interaction dynamique de télérobotique, à la fois efficace et précise, avec des environnements inconnus et non structurés. Ceci requiert le développement de nouvelles méthodes pour une commande optimale, adaptative et apte à maîtriser la force de bras robotiques dociles et souples, ainsi que d'une architecture informatique appropriée à la commande de robots intelligents. Le projet adopte une approche intégrée à ces problèmes, se concentrant sur les aspects dynamiques du comportement du robot intelligent. Un élément important de ce projet est le développement de la station expérimentale de télérobotique (TEST), qui sera la base de l'implémentation et de l'essai de nouvelles idées, méthodes et solutions de conception, et qui servira de lien au transfert de technologie. Les résultats appliqués de ce projet contribueront au progrès technologique dans des domaines stratégiques tels que la télérobotique (plate-formes de forage et développement du Nord; foresterie, mines, et programmes spatiaux), et les soins de santé (prosthétique, structures exosquelettiques, etc.).

C2 : Simulation, commande et planification en robotique

Chef de projet : P.R. Bélanger

Ce projet vise le fonctionnement des systèmes robotiques. Cette opération est organisée comme une hiérarchie. Les niveaux les plus bas résolvent les questions de commande robotique de la force et de la position. Ils font appel à la modélisation et à la simulation mathématiques, ainsi qu'à la mesure et à la conception des stratégies de régulation par réaction. Les niveaux plus élevés s'emploient à la planification des mouvements des robots (ou de leur trajectoire) et aux tâches, par la décomposition en sous-tâches. Ce projet exige la construction de bancs d'essai expérimentaux et le développement de systèmes informatiques hautement perfectionnés.

C3 : Robots à haute performance : conception et architecture

Chef de projet : I.W. Hunter

L'objectif de ce projet est de concevoir, construire et analyser, sur les plans théoriques et expérimentaux, des robots à haute performance. De tels robots exigent des moteurs à entraînement direct, légers, sûrs et rapides, ainsi que de nouvelles conceptions optimisées des membres et des architectures de commande informatique ayant des centaines de fois la vitesse à virgule flottante des robots commerciaux existants. Notre approche n'est pas de construire des robots à l'aide de pièces de série; une telle méthode donne inévitablement un produit peu performant, impossible à maîtriser de façon satisfaisante et manquant à la fois de précision et de vitesse. En conséquence, nous allons à

la limite de la technologie actuelle et, s'il le faut, nous développons des technologies nouvelles.

C4 : Systèmes de planification et d'exécution de robots intelligents

Chef de projet : H.A. ElMaraghy

Ce projet vise divers aspects de la génération d'un plan d'action, ainsi qu'une exécution et une surveillance par capteurs pour les robots intelligents. Ce projet est constitué de trois modules interreliés : (1) planification du robot au niveau des tâches, (2) planification du parcours du robot et (3) commande multisensorielle de plusieurs robots.

Les robots intelligents opérant dans des environnements non structurés doivent savoir planifier leurs actions et replanifier, en temps réel, pour s'adapter à des buts et conditions variables. Une telle adaptation exige raisonnement et commande par capteurs prenant en compte l'incertitude et l'information incomplète présentes dans les domaines non structurés (comme sous l'eau, dans l'espace interplanétaire et dans les forêts) et les domaines peu structurés (comme un assemblage souple non aménagé). L'objectif du professeur H.A. ElMaraghy, de l'Université McMaster, est de fournir un nouvel environnement à la planification automatisée des robots, à savoir : une base de données géométrique orientée objet, un planificateur expert de tâches et de mouvements lié à une base de connaissances, et un système de surveillance de temps d'exécution. Outre la planification des actions du bras robotique entier, la planification automatique de la préhension est très importante. La génération des configurations de préhension, c'est-à-dire des points de contact entre les objets et les forces de préhension correspondantes, ainsi que la manipulation de la préhension à deux doigts ou plus, seront examinées.

L'exécution de plans générés d'actions robotiques requiert souvent une planification soignée du parcours du robot pour éviter les collisions. Il s'agit donc de développer des stratégies pour la détermination automatique du parcours de celui-ci sans collision, parcours qui soit à la fois optimisé et réalisable. R.O. Buchal, de l'Université Western Ontario, à London (Ontario), effectuera également des recherches sur une stratégie d'optimisation de parcours en temps réel, mettant continuellement à jour le parcours planifié du robot en fonction de sa position actuelle et des contraintes d'un environnement non structuré. La dynamique du système robotique sera complètement incorporée à la formulation du problème de planification du parcours, de façon à prendre en compte le couple des actionneurs et le temps écoulé. Le professeur W.H. ElMaraghy, de l'Université Western Ontario, qui a déjà entrepris des recherches dans ce domaine, étudie la simulation informatique du comportement dynamique de systèmes multicorps et le développement d'un formalisme permettant de tirer les équations maîtresses de la topologie des systèmes, les propriétés mécaniques des corps et les interconnexions des corps.

Les robots de l'avenir, qui travailleront dans un environnement non structuré, s'appuieront fortement sur l'intégration efficace de signaux de capteurs et de schémas de commande. Le professeur M.M. Bayoumi, de l'Université Queen's de Kingston (Ontario), propose de développer un poste d'essai de commande de robots qui soit portatif, modulaire, facile à modifier et à utiliser. On pourrait ainsi étudier l'intégration des détecteurs et des niveaux différents de la hiérarchie de commande. L'ensemble des modules du poste comprendrait le servoniveau, le niveau de génération du parcours, ainsi que la planification de tâches de bas niveau. Les détecteurs sont classés hiérarchiquement : bas niveau (détection de position et d'effort), niveau moyen (détection tactile et détection de distance) et haut niveau (vision). Un tel poste d'essai permettrait à la recherche de profiter de la gestion hiérarchique et intelligente des robots en utilisant la rétroaction d'une batterie de capteurs.

C5 : Mécanique, commande et conception de robots adroits et d'interfaces d'environnement

Chef de projet : A.A. Goldenberg

L'automatisation à base robotique des processus dans l'industrie et les services présente un défi technique considérable pour le milieu du génie et de la recherche scientifique. Un élément capital des progrès dans ce domaine est le développement d'interfaces polyvalentes accroissant les capacités actuelles, et augmentant donc l'utilité de manipulateurs robotiques pour l'exécution de tâches dans des environnements variés. De plus, des améliorations de la technologie des manipulateurs robotiques s'imposent pour réduire davantage les coûts de l'automatisation et assurer un avantage concurrentiel au secteur canadien du génie.

Une équipe multidisciplinaire de chercheurs d'envergure internationale de la Faculté des sciences appliquées et du génie de l'Université de Toronto, à Toronto (Ontario), conduira cet

effort de recherche sous les aspects théoriques et appliqués de la mécanique, de la conception et de la commande des interfaces de robots adroits polyvalents. S'appuyant sur une large base de compétence technique, l'équipe examinera les domaines qui présentent actuellement des obstacles à l'avancement de la technique de pointe en robotique. La recherche fondamentale et appliquée dans ces domaines-clés permettra le développement d'interfaces robotiques vraiment polyvalentes ayant un grand potentiel économique.

C6 : Télémanipulation : Mesure des paramètres de la machine et du rendement opérateur–machine

Chef de projet : P.D. Lawrence

Le matériel lourd commandé par des opérateurs humains est utilisé dans d'importantes industries canadiennes, telles que les mines, la foresterie, l'agriculture et la construction. Comme exemples de cet équipement, citons les excavatrices, les grues, les chargeuses à billots, les moissonneuses combinées et les abatteuses-empileuses. Les commandes informatiques avancées du type utilisé dans l'industrie de fabrication sont presque totalement absentes de ces machines.

L'informatisation des commandes aiderait l'opérateur à garder la maîtrise de sa machine en améliorant la précision, la capacité de répétition, la fiabilité et la sécurité du fonctionnement, tout en réduisant la fatigue. Des études préliminaires ont démontré que les opérateurs novices peuvent réaliser des tâches plus rapidement et plus précisément à l'aide des commandes assistées par ordinateur; certains opérateurs chevronnés peuvent aussi améliorer leur rendement.

Ce projet se concentre sur trois problèmes importants du développement de cette technologie : élaboration de moyens de mesure et de transfert des caractéristiques d'une machine particulière à son ordinateur de gestion et de détecteurs évolués capables de mesurer les variables d'opération et de production pour l'ordinateur et mesure du rendement de la machine et de l'humain.

Les principales participations industrielles à ce projet proviennent des secteurs forestier et agricole, bien que les mines et de la construction s'y intéressent également.

C7 : Dynamique et gestion de systèmes complexes de manipulateurs spatiaux

Chef de projet : P.C. Hughes

L'usage de systèmes de télémanipulateurs pour les applications spatiales est un exemple du perfectionnement toujours croissant des systèmes robotiques en général. Les systèmes robotiques de l'avenir seront topologiquement élaborés et la question de leur souplesse structurale ne pourra plus être négligée. Les problèmes qu'ils poseront pour la modélisation dynamique et la simulation, la planification de parcours et les commandes seront considérables. Il est peu probable que les techniques actuelles suffisent à répondre aux difficultés qui nous attendent. De nouvelles approches devront être explorées.

En conséquence, ce projet est consacré à l'étude et au développement de méthodes d'analyse et de techniques de gestion de la dynamique pour des systèmes robotiques complexes, en vue de leur application dans l'espace. Même si la motivation première vise l'usage de la robotique dans l'espace, soulignons que les résultats de ce projet s'appliqueront à l'ensemble des robots dans l'industrie.

Le développement de modèles dynamiques se concentrera sur la topologie complexe, la souplesse structurale et l'efficacité du calcul. De plus, l'architecture du super-mini-ordinateur révolutionnaire à traitement en parallèle sera exploitée dans la conception d'algorithmes évolués de simulation pour des systèmes généraux multicorps. Dans le domaine de la commande, l'usage de réseaux neuronaux, qui relève de l'intelligence artificielle, sera examiné. Comme leur nom le laisse supposer, les réseaux neuronaux tentent de reproduire le mode de calcul du cerveau humain. Même si la théorie des réseaux neuronaux est relativement récente, les progrès réalisés auront sûrement des répercussions importantes dans le milieu de la robotique. Enfin, pour que le projet devienne un ensemble cohérent et complet, le travail théorique sera validé en laboratoire à l'aide de Radius, l'installation de laboratoire de robotique spatiale de l'UTIAS.

C8 : Conception et commande dynamiques d'une grande catégorie de manipulateurs souples, spatiaux et terrestres

Chef de projet : D[r] V.J. Modi

Les systèmes robotiques terrestres ont tendance à être relativement petits, de conception simple et

essentiellement rigides. De plus, ils opèrent dans l'environnement atmosphérique à pression normale, où le comportement structural et son contrôle sont assez bien compris. Toutefois, en ce qui concerne les systèmes robotiques polyvalents de l'espace, opérant dans un environnement moléculaire libre, de microgravité, magnétique et exposé aux radiations solaires, le problème prend une ampleur considérable.

Le fait qu'il soit impossible de simuler les effets environnementaux de l'espace, même dans les installations terrestres les plus évoluées, accentue encore la difficulté. Compte tenu de cette situation, les méthodes théoriques joueront un rôle toujours grandissant dans la conception des robots spatiaux. De plus, il nous faudra trouver des réponses à ces problèmes complexes parce que le Canada participe au programme de station spatiale parrainé par les États-Unis; sa principale responsabilité est la conception, le développement et l'opération d'un manipulateur robotique polyvalent appelé le Système mobile d'entretien (MSS). La dynamique et la commande d'un manipulateur robotique souple, mobile, opérant sur la station souple et transportant une charge utile souple, exigent des méthodes de modélisation jamais envisagées jusqu'ici.

La proposition détaillée vise à créer une base solide pour la conception des manipulateurs robotiques de la prochaine génération. Elle utilise à cette fin des informations-clés sur l'interaction entre la dynamique oscillatoire, la flexibilité, les manoeuvres du MSS et les stratégies de commande, qui sont essentielles pour toutes les phases de la station spatiale : construction, opération, entretien et utilisation.

C9 : Dextérité dans la télémanipulation

Chef de projet : D[r] J. Hollerbach

Ce projet de dextérité dans la télémanipulation a pour but de recréer et d'utiliser la dextérité de la main humaine dans un système télécommandé. Deux systèmes télécommandés sont proposés : (1) un maître-gant réfléchissant la force pour commander une main robotique à plusieurs doigts, capable de saisir et de manipuler des objets divers, et (2) un robot télécommandé à mouvements précis pour l'utilisation d'outils à haut rendement. Les études de facteurs humains sont incluses en tant qu'élément essentiel d'une base scientifique pour l'évaluation du rendement des unités maître-esclave ainsi que pour l'établissement des objectifs de conception.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

D[r] A.E. Collin
Directeur, IRIS
PRECARN Associates Inc.
30, chemin Colonnade, bureau 300
Nepean (Ontario)
K2E 7P4
Téléphone : (613) 727-9576
Télécopieur : (613) 727-5672

Programmes de soutien du gouvernement pour R-D en IA dans l'industrie canadienne

Un résumé des programmes d'assistance du gouvernement fédéral au développement technologique de l'industrie canadienne figure dans le tableau ci-joint (tableau 4). Les programmes d'incitation destinés aux universités et aux entreprises non constituées en société sont exclus de ce tableau. Sont aussi exclus les fonds fédéraux consacrés à la recherche de base et appliquée visant des objectifs précis, dont une partie importante a été confiée par contrat au secteur privé, aux universités et à d'autres organismes.

On peut se procurer la description détaillée des programmes en s'adressant aux personnes-ressources indiquées dans le tableau. Les candidats peuvent également communiquer avec les bureaux régionaux d'Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC) ou les conseillers locaux du Conseil national de recherches (CNRC) situés dans les grandes villes canadiennes.

Une brève description des programmes fédéraux figure ci-dessous. À l'exception du Fonds de R-D en IA, ces programmes ne portent pas exclusivement sur l'IA. Toutefois, ils peuvent soutenir les activités de R-D en IA entreprises par l'industrie.

Fonds de recherche et développement en intelligence artificielle (ISTC)

Le fonds de R-D en IA a pour but d'encourager les ministères et organismes du gouvernement fédéral à développer et à utiliser des systèmes d'IA dans leurs opérations. Il fournit une subvention égale, au maximum, à la somme versée par les autres sources de financement; il s'agit d'un programme quinquennal de 10 millions de dollars. *Seuls les ministères et organismes du gouvernement fédéral peuvent avoir recours au fonds.*

Pour être admissibles, les projets doivent comporter une proportion significative de sous-traitance. De même, ils doivent présenter un potentiel de gains de productivité au sein du ministère responsable et avoir des applications dans le secteur privé susceptibles d'améliorer la compétitivité de l'industrie canadienne.

Le ministère des Approvisionnements et Services (MAS) administre le processus de sous-traitance. Les entreprises du secteur privé qui désirent sougramme devraient s'adresser à la Direction générale des sciences du MAS. Chaque ministère concerné est responsable de la gestion de son projet.

Une première affectation, d'environ 2 millions de dollars sur quatre ans, a été consentie; grâce à une subvention égale, un total de plus de 4,6 millions de dollars sera consacré au développement et à l'application de la technologie de l'IA. Une liste détaillée des projets approuvés à ce jour figure à ce rapport.

Programme de technologies stratégiques

Ce programme offre une aide financière au développement et à l'application de matériaux industriels évolués, de la biotechnologie et des technologies de l'information. Il prend en charge jusqu'à la moitié des coûts admissibles des projets en technologie de pointe entrepris par les alliances de recherche et développement et d'application de la technologie.

Ce programme soutient deux types d'alliances :

- *Alliances de recherche et développement* : une entreprise partageant les risques et travaillant avec une ou plusieurs entreprises, universités ou instituts de R-D précommercial dans le but de développer la base technologique nécessaire à la réalisation d'une gamme de produits et procédés nouveaux ou améliorés.

- *Alliances pour l'application de la technologie* : au moins deux entreprises engagées dans des activités complémentaires et une ou plusieurs autres partageant les risques et travaillant solidairement au développement de la technologie préconcurrentielle et à des études connexes en vue des objectifs suivants : déterminer la faisabilité économique de marché et de production des nouveaux produits ou procédés technologiques, établir les normes nécessaires pour permettre les applications de la technologie, ou démontrer la faisabilité de la technologie de pointe aux utilisateurs canadiens potentiels. Les partenaires de ce type d'alliance peuvent être les utilisateurs ou les créateurs de la technologie.

Programme de microélectronique et de développement des systèmes (ISTC)

Le Programme de microélectronique et de développement des systèmes (PMDS) prend en charge jusqu'à la moitié des frais admissibles engagés pour le développement de systèmes innovateurs en microélectronique et en technologie de l'information

Tableau 4. Programmes d'aide gouvernementale pour la recherche et le développement en IA dans l'industrie canadienne.

Programme	Objectif	Budget	Ministère	Candidats	Téléphone
Fonds de recherche et de développement en IA	Financer les projets d'application de l'IA au sein du gouvernement fédéral. Les coûts sont partagés avec les ministères participants. Le Fonds vient en aide aux projets sous-traités au secteur privé ou aux universités.	10 millions de dollar (5 ans)	ISTC	Ministères du gouvernement	E. Raynes (613) 993-0303
Programme de technologies stratégiques (PTS)	Créer des alliances industrielles en R-D conjointe et applications de technologie stratégique. Les alliances menées par l'industrie peuvent faire appel aux universités et aux instituts de recherche. Les projets de R-D doivent être préconcurrentiels et les projets d'application doivent être précommerciaux.	30 millions de dollars visant la technologie de l'information (5 ans)	ISTC	Alliances, consortiums, entreprises conjointes et autres entreprises par concertation dans l'industrie	André St-Pierre (613) 954-3470
Programme de microélectronique et de développement des systèmes	Aider au développement de la microélectronique avancée et des systèmes de technologie de l'information. (Note : le PDMS n'aide pas les projets de progiciels autonomes. Pour être admissible, l'activité d'IA doit faire partie intégrante d'un projet de développement de technologie ou de système.)	60 millions de dollars (5 ans)	ISTC	Sociétés par actions	André St-Pierre (613) 954-3470
Programme de mise en valeur de la technologie	Aider les initiatives de diffusion de la technologie des centres de technologie.	15 millions de dollars par an	ISTC	Centres de technologie	Elizabeth Payne (613) 954-3449
Programme de productivité de l'industrie du matériel de défense (PPIDM)	Aider les industries liées à la défense dans le développement et la production de la technologie. Le programme offre une aide à l'innovation en recherche et développement pour la défense. Les projets en IA se qualifient pour cette aide s'ils satisfont à des besoins et à des applications raccordés à la défense.	—	ISTC	Liées à la défense	P. Wilburn (613) 954-3338
Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI)	Les services du PARI incluent des programmes de partage des coûts pour aider les activités innovatrices de mise au point de nouveaux produits et procédés.	—	CNRC	Sociétés par actions	Bureau du PARI (613) 993-2012

pouvant améliorer la compétitivité internationale des industries de fabrication, de transformation ou de services. Il soutient la recherche et le développement sur les éléments microélectroniques innovateurs et les technologies fondamentales de conception et de traitement pouvant être utilisées dans des systèmes ou sous-systèmes évolués. Ce programme aide aussi la recherche et le développement de systèmes basés sur les techniques avancées de microélectronique et de l'information s'appliquant aux industries de fabrication, de transformation ou de services. Le développement de progiciels autonomes ne reçoit en général aucun soutien du PMDS. Pour qu'un projet sur l'IA puisse avoir droit au financement, les activités de développement de logiciels doivent faire partie intégrante du développement d'une technologie ou d'un système admissible au soutien du PMDS.

Programme de mise en valeur de la technologie (ISTC)

Le programme de mise en valeur de la technologie (PMVT) favorise la productivité et la compétitivité de l'industrie canadienne en aidant des centres de technologie dont les activités et services à l'échelle nationale accélèrent l'acquisition, le développement et la diffusion de la technologie, surtout dans les petites et moyennes entreprises. Le programme subventionne la mise sur pied, et parfois l'administration, de centres de technologie sans but lucratif. Le programme peut prendre en charge jusqu'à la moitié de la moyenne quinquennale des coûts d'exploitation prévus d'un nouveau centre.

Programme d'aide à la recherche industrielle (CNRC)

Le programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) augmente l'envergure et la portée de la recherche et du développement industriels au Canada tout en encourageant l'utilisation des technologies existantes. Le programme offre un soutien technique et financier aux entreprises pour les projets admissibles de recherche industrielle; ceux-ci doivent être d'une grande valeur technique et présenter un bon potentiel de succès commercial. Ces projets doivent porter sur des produits ou procédés innovateurs qui soient réalistes pour l'entreprise en cause, et procurer au Canada des avantages économiques ou sociaux appréciables. Les projets de plus de 100 000 $ doivent faire appel à la concertation ou au transfert de technologie avec un gouvernement, une université ou un laboratoire étranger.

Programmes régionaux

Le gouvernement fédéral administre aussi un certain nombre de programmes régionaux qui complètent les activités de recherche et de développement en IA des entreprises canadiennes. Citons :

- *Le programme de diversification de l'économie de l'Ouest* : Ce programme aide les entreprises qui diversifient l'économie de l'Ouest en développant de nouveaux produits, de nouveaux marchés, de nouvelles technologies, des remplacements d'importations, ou des améliorations de la productivité dans l'ensemble d'un secteur industriel. Le ministère partage les risques de ces entreprises, généralement au moyen de prêts sans intérêt. Les candidats doivent détenir un investissement appréciable dans chaque projet. Si un projet peut se réaliser sans l'aide du PDEO, il n'est pas admissible. Le ministère joue aussi un important rôle de pionnier, mettant les entreprises de l'Ouest en contact avec d'autres sources de financement.

- *Agence de promotion économique du Canada atlantique* : Cette agence est responsable des politiques et programmes fédéraux pour les petites et moyennes entreprises et du développement industriel des provinces atlantiques du Canada. Elle offre une aide financière à tout un éventail d'activités, notamment les études de faisabilité, les études de marché et le transfert de technologie. L'aide financière peut atteindre jusqu'à 75 % du coût des études de faisabilité, du développement de la technologie et des activités de transfert, et jusqu'à 60 % du coût de la recherche et du développement d'un nouveau produit, procédé ou service.

Projets parrainés en partie par le Fonds de R-D en IA

Développement d'un système expert de soutien aux décisions d'évaluation des risques inhérents à un instrument médical (MEDRISK)

Parrain : Santé et Bien-être social Canada, Bureau de la radioprotection et des instruments médicaux (BRIM)

Personne-ressource : Fred Fiksel (613) 954-6703

Le système MEDRISK fournira au BRIM un outil basé sur un système expert pour réaliser des évaluations de risque complètes sur des catégories génériques d'instruments médicaux et aider à l'établissement de protocoles appropriés pour l'examen

réglementaire des renseignements touchant ces appareils. Le BRIM est chargé de réglementer la vente d'instruments médicaux au Canada, pour en assurer la sécurité et l'efficacité. Le nombre élevé et rapidement croissant de ces instruments sur le marché canadien, leur perfectionnement constant, ainsi que le cours rapide des changements technologiques, surexploitent les ressources limitées que le BRIM consacre à l'examen réglementaire. L'utilisation du système MEDRISK devrait favoriser une meilleure utilisation de ces ressources; MEDRISK aidera aussi le BRIM à effectuer des examens mieux adaptés aux risques découlant des caractéristiques particulières de ces instruments. Une telle adaptation permettra au BRIM de réduire la durée des examens réglementaires de certains instruments et d'étendre ses activités à un plus grand nombre et une plus grande variété d'appareils. Les Canadiens devraient donc profiter d'un accès plus rapide à des technologies innovatrices permettant de sauver des vies; l'industrie sera mieux à même de parer les effets de la désuétude technologique accélérée, et la sécurité et l'efficacité des appareils médicaux seront mieux assurées que jamais. Le système MEDRISK est conçu avec l'aide de la U.S. Food and Drug Administration. La contribution du Fonds à ce projet de deux ans sera égale à celle de Santé et Bien-être social Canada.

Systèmes experts de météo à destination, Phase II

Parrains : Transports Canada, Centre de développement des transports; Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique; Ministère de la Défense nationale

Personne-ressource : Howard Posluns (Transports Canada) (514) 283-0034

Cette proposition porte sur un système expert consultatif destiné à aider les météorologues des aérodromes en leur fournissant des prévisions atmosphériques exactes à l'usage de l'aviation civile et militaire. Ce système expert de connaissances profondes simulera de manière qualitative les caractéristiques physiques de certains phénomènes que le météorologue utilise dans ses prévisions. Un tel système pourrait améliorer la qualité et la fiabilité des bulletins d'atterrissage actuels, et augmenter la sécurité et l'efficacité du trafic aérien. La technologie d'intelligence artificielle mise au point pour ce projet serait en très forte demande dans tous les pays du monde pour des applications similaires. Les prévisions atmosphériques sont très importantes pour la fiabilité et l'efficacité de l'aviation civile et militaire. Ces prévisions sont le point de départ de l'établissement de plans de vol sûrs et efficaces tenant compte des conditions atmosphériques locales. Les météorologues des aérodromes sont des spécialistes hautement qualifiés qui doivent accomplir chaque jour un travail considérable. Les subventions du Fonds égaleront celles des trois organismes parrainant le projet. Transports Canada assume la direction du projet et sa subvention est la plus importante.

RAISON/AI : Un système expert pour l'évaluation régionale des ressources en eau

Parrain : Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux

Personne-ressource : David Lam (416) 336-4916

Le projet RAISON/AI vise l'expansion du système informatique d'évaluation régionale actuel, en utilisant la technologie de l'intelligence artificielle pour traiter les données floues et le raisonnement heuristique et réaliser une évaluation régionale précise. Environnement Canada a réussi, à l'aide d'un système informatique, à réaliser une partie de la gestion de données nécessaire à l'intégration de l'information sur une base régionale. Le système RAISON/AI est en mesure d'améliorer considérablement l'aptitude du Canada à évaluer les facteurs environnementaux sur une base régionale. L'évaluation des répercussions des divers facteurs environnementaux est une tâche difficile, même sur une base locale. La détermination de ces répercussions sur une base régionale est extrêmement complexe, surtout si une grande partie de l'information requise est plus qualitative que quantitative. Les prototypes de ce système ont beaucoup intéressé certains pays étrangers, qui pourraient constituer un excellent marché d'exportation de cette technologie. Le Fonds fournira une subvention égale à celle d'Environnement Canada à ce projet de quatre ans.

Développement d'un système expert micro-informatique pour la conception d'installations de traitement des effluents des usines de traitement de l'or

Parrain : Environnement Canada, Centre technique des eaux usées

Personne-ressource : John Neate (416) 336-4599

Ce système expert rassemblera les connaissances requises pour l'évaluation des opérations d'une installation complexe de traitement des effluents

des usines de traitement de l'or en un système expert consultatif simple pouvant être utilisé tant par les organismes normatifs (pour faciliter le traitement des approbations) que par les sociétés minières (pour aider à la conception d'installations efficaces et conformes aux normes). Les mines d'or sont d'une importance considérable pour le Canada. Nos réserves d'or continuent de générer des avantages économiques importants. L'affinage de l'or produit toutefois des quantités considérables de déchets pouvant être dangereux. La conception d'installations fiables et efficaces de traitement des effluents réduit les effets de ces activités sur l'environnement et permet aux entreprises en cause de se conformer aux règlements au moindre coût et avec un minimum d'interruptions de production. La conception de telles installations exige une grande quantité d'informations, y compris les facteurs de traitement et la connaissance locale des gisements d'or et des quantités prévues d'effluents. Environnement Canada doit être en mesure d'évaluer les projets en fonction de la protection de l'environnement, et l'industrie devrait pouvoir choisir le plan d'usine qui respecte les lois au moindre prix. La subvention du Fonds à ce projet égalera celle d'Environnement Canada. Le gouvernement de l'Ontario fournira aussi une subvention importante, et l'industrie canadienne des mines d'or y contribuera probablement.

Système d'experts hiérarchiques pour l'inventaire des ressources (Projet SHERI)

Parrain : Énergie, Mines et Ressources Canada, Centre canadien de télédétection

Personne-ressource : Dr David Goodenough (613) 952-2760

Le Centre canadien de télédétection se propose de développer un système d'IA intégrant les données de télédétection à une variété d'autres systèmes d'information géographique pour établir l'inventaire des forêts. Une telle approche constituerait une amélioration considérable par rapport à la situation actuelle; en effet, il y a pénurie d'experts qualifiés pour interpréter les données. Le Canada est un pays si vaste que la surveillance de l'état de ses ressources est une tâche énorme et onéreuse. La gestion des ressources naturelles du Canada est une priorité, surtout au moment où les réserves diminuent et que l'état de l'environnement est un sujet de préoccupation. L'intérêt pour les systèmes experts d'inventaire des forêts est donc grand. Le ministère des Forêts de la Colombie-Britannique subventionne aussi ce projet, qui sera entrepris par une équipe formée par le gouvernement, l'industrie et les universités, et mettra en commun l'expérience de ses membres pour développer un système exclusif et efficace. La subvention du Fonds couvrira environ 37 % du coût total de ce projet de trois ans et demi.

Études de faisabilité subventionnées en partie par le Fonds de R-D en IA

Outre les cinq projets de développement de systèmes, les études de faisabilité de trois projets ont également été approuvées. Ces études visent à démontrer l'applicabilité de la technologie en IA à des problèmes particuliers. Ce sont :

Traduction et synthèse bilingue automatique de textes en langage naturel

Parrain : Communications Canada, Centre canadien de recherches sur l'informatisation du travail

Personne-ressource : Pierre Isabelle (514) 682-3400

Environnements d'apprentissage intelligent pour les études de cas en administration publique et système expert d'écriture de cas

Parrains : Communications Canada, Centre canadien de recherches sur l'informatisation du travail; Centre canadien de développement de la gestion

Personne-ressource : Jocelyn Picot (514) 682-3400

SEPA — Système d'évaluation stratégique de l'environnement et des procédures

Parrain : Environnement Canada, Conservation et protection

Personne-ressource : Abe Finkelstein (819) 953-1110

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

André Dubois
Directeur adjoint, Gestion de la technologie
Direction de l'industrie des technologies d'information
Industrie, Sciences et Technologie Canada
235, rue Queen
Ottawa (Ontario)
Téléphone : (613) 954-3452

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) est un organisme fédéral de subventions ayant pour mandat de «promouvoir et d'aider la recherche en sciences naturelles et en génie en dehors des sciences de la santé». Le Conseil consacre le gros de ses activités à l'aide à la recherche et développement universitaire et à la formation à la recherche; c'est la plus importante source de fonds au Canada pour cet objectif. Récemment, le CRSNG s'est employé à créer des rapports plus étroits entre le milieu de la recherche universitaire et d'autres secteurs afin de promouvoir la collaboration dans la recherche-développement et le transfert de technologie.

Pour l'année financière 1990–1991, le budget des subventions et des bourses d'étude du CRSNG dépassera 400 millions de dollars. Le CRSNG encourage la recherche ou la formation de quelque 17 000 personnes.

Les sous-objectifs du programme de subvention et de bourses d'étude du Conseil pour l'Aide à la recherche sont les suivants :

- soutenir une base diversifiée de chercheurs hautement qualifiés en sciences naturelles et en génie,
- favoriser la formation et le perfectionnement d'un personnel hautement qualifié,
- promouvoir et soutenir la recherche spécialisée dans des domaines choisis d'importance nationale,
- créer des rapports plus étroits entre le milieu de la recherche universitaire et les autres secteurs de l'économie.

Pour atteindre ces objectifs, les programmes du CRSNG sont divisés en trois grandes activités :

- Programmes de base de recherche (incluant les subventions de fonctionnement),
- Bourses d'étude et programmes internationaux,
- Recherche spécialisée (subventions stratégiques et programme d'association de recherche).

Le CRSNG répond aux demandes de fonds d'un groupe diversifié de chercheurs universitaires. Les demandes sont examinées par des comités paritaires, et les subventions sont accordées selon les critères de chaque programme, compte tenu du budget alloué au programme à même le total des fonds disponibles.

Dans certains domaines précis de recherche, la possibilité pour le CRSNG de comptabiliser ses dépenses est limitée par notre système de codage et par le fait que les bénéficiaires appliquent le même système à leur recherche. Par conséquent, les chiffres disponibles sont attribuables à des programmes choisis (base de recherche et recherche spécialisée) et ne fournissent qu'une indication (probablement sous-estimée) de l'aide totale du CRSNG à l'intelligence artificielle. Compte tenu de ces mises en garde, notons que le CRSNG a consacré en 1989–1990 environ 3,6 millions de dollars à la recherche en intelligence artificielle.

Les programmes de base de recherche, et en particulier leur principal élément, le programme de bourses de fonctionnement, offrent leur aide à une base diversifiée d'excellente recherche dans tout le pays. Les programmes de base de recherche ont pour but de fournir une aide continue et de créer un environnement central pour la formation d'étudiants diplômés. Les activités appuyées par d'autres programmes du CRSNG ou par d'autres organismes dans les universités canadiennes, dans des domaines tels que la recherche sur l'IA, sont fondées sur les moyens de recherche attribuables à ces programmes.

Les programmes de recherche spécialisée consistent en subventions stratégiques et en associations de recherche. Les subventions stratégiques financent la mise en marche ou l'accélération de grands projets de durée limitée dans certains domaines d'importance nationale. Les fonds fournis par le programme de subventions stratégiques permettent aux chercheurs en intelligence artificielle de fournir un apport appréciable à un domaine où le coût de la recherche peut être élevé. Le programme encourage la recherche multidisciplinaire en groupe et attire les chercheurs d'un large éventail de disciplines. L'aide à la recherche en intelligence artificielle porte sur plusieurs domaines stratégiques, particulièrement les systèmes d'information et les systèmes de fabrication.

Le programme des associations de recherche comprend diverses activités de recherche et développement financées en commun par le CRSNG, l'industrie et d'autres ministères fédéraux. Il offre des subventions de coopération en recherche et développement pour des projets de recherche ou des programmes exécutés par des chercheurs universitaires, en collaboration avec l'industrie ou le gouvernement fédéral; des chaires en recherche industrielle qui aident les universités à atteindre le niveau de compétence essentiel aux activités importantes de recherche scientifique ou technologique en collaboration avec l'industrie; et diverses activités destinées à améliorer la diffusion de la technologie par l'échange de chercheurs entre les universités et l'industrie, et par le soutien d'ateliers, de séminaires et d'affiliations entre les universités et l'industrie. Les initiatives récemment soutenues comprennent la création d'une chaire en recherche industrielle en robotique à l'Université McGill.

Avec le Conseil de recherches médicales (CRM) et le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH), le CRSNG a dirigé le concours récemment organisé à l'échelle nationale entre les Réseaux de centres d'excellence (RCE). L'Institut de robotique et d'intelligence des systèmes (IRIS), qui rassemble 18 universités et PRECARN Associates Inc., a été l'un des 15 réseaux choisis pour recevoir des fonds. Grâce au programme de RCE, le CRSNG octroiera 23,8 millions de dollars à l'IRIS au cours des quatre prochaines années.

Les gouvernements de tous les pays industrialisés prennent rapidement conscience de la demande croissante de personnel scientifique et technique hautement qualifié. Dans les secteurs à fort contenu de recherche et développement, tels que l'IA, il est essentiel pour l'économie canadienne, qui s'appuie de plus en plus sur les connaissances, que le pays dispose d'un réservoir suffisant de chercheurs. C'est pourquoi, dans son plan stratégique récemment publié, le CRSNG met surtout l'accent sur l'obligation de répondre à la demande en personnel hautement qualifié. Le CRSNG soutient la formation des chercheurs directement, par des bourses et des programmes internationaux, et indirectement, par les traitements versés à même les bourses de fonctionnement, les subventions stratégiques et celles qui s'appliquent aux associations de recherche.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
Tours Centennial
200, rue Kent
Ottawa (Ontario)
K1A 1H5
Téléphone : (613) 995-6295

Section 4

IA dans les universités, les ministères et les organismes gouvernementaux

Agence spatiale canadienne

Mots-clés : IA, planification, diagnostic, vision, système tutoriel, apprentissage machine, MSS, SPDM

L'Agence spatiale canadienne (ASC) soutient un certain nombre de travaux en IA dans le domaine des sciences et applications spatiales, notamment par l'intermédiaire de projets spatiaux d'importance fondés sur l'industrie. La plupart des travaux de recherche et développement en IA exécutés au sein de l'ASC s'inscrivent dans le cadre des programmes du système mobile d'entretien (MSS) de station spatiale ainsi que des technologies stratégiques en automatisation et robotique (TSAR). En outre, la Direction de la mécanique spatiale (DSM) met actuellement en oeuvre des projets internes faisant appel à des systèmes experts et à des réseaux neuronaux.

Les travaux d'IA parrainés par l'ASC sont décrits brièvement pour chaque secteur technologique. Les travaux de base du MSS sont décrits dans la première partie, les travaux de développement du MSS le sont dans la deuxième, et les travaux internes de la DSM le sont dans la dernière.

Activités de base du MSS

La contribution canadienne à la station spatiale internationale «Freedom» réside dans le système mobile d'entretien (MSS). Le MSS est un regroupement d'éléments robotiques configurés pour soutenir l'assemblage, la maintenance et l'entretien de la station spatiale. En voici les principaux éléments :

- Système télémanipulateur de station spatiale (SSRMS) : grand bras manipulateur robotique à sept degrés de liberté, principalement utilisé pour la manipulation de gros objets en orbite, y compris la capture et l'arrimage de la navette spatiale.

- Manipulateur adroit spécialisé (SPDM) : petit dispositif robotique à deux bras capable d'exécuter des tâches d'entretien robotique exigeant de la dextérité.

- Centre de maintenance mobile (MSC) : base mobile du MSS à partir de laquelle les manipulateurs robotiques peuvent être télécommandés et utilisés pour transporter des charges utiles autour de la station.

Les ressources de base de ces éléments à l'intérieur de la configuration opérationnelle initiale (IOC) de la station comprendront des technologies stratégiques, notamment celle de systèmes experts utilisant des techniques d'IA. La plupart des travaux de base sont donnés à contrat à l'équipe industrielle de la station spatiale, constituée de la Spar Aérospatiale, de la CAE Électronique Ltée, de la Canadian Astronautics Ltd., de la SED Systems Inc., de la Macdonald Detwiller and Associates Ltd. et de l'IMP Group Limited.

Les systèmes MSS/SPDM de base ont été conçus dans l'optique d'une évolution vers l'autonomie d'exploitation. Un langage de commande et de programmation a été développé pour le MSS afin de permettre l'implantation de procédures automatisées. Ce langage fait appel à des techniques d'IA pour tenir compte de la nature dynamique de l'environnement du MSS ainsi que des modifications apportées au MSS. Un système d'évitement de collisions a également été développé dans le but de doter le MSS d'un modèle environnemental. Un système expérimental de vision machine, appelé «système de vision spatiale», qui permet la commande en boucle fermée a été développé et sera soumis à des essais par un astronaute canadien durant une mission de la navette spatiale en 1992. Ces systèmes, décrits ci-dessous, comprendront le noyau des fonctions d'autonomie. Les commandes, le langage de programmation ainsi que le système d'évitement des collisions ont été développés au niveau du prototype et font actuellement l'objet d'une révision en vue de leur incorporation au MSS de base.

Système à raisonnement procédural

Ce système permettra la récupération des connaissances sur les diagnostics de défaillance dans un format de procédures, plutôt que de règles. Le système fonctionnera en temps réel afin d'aider les opérateurs du MSS à déterminer les états de défaillance du MSS. Les procédures sont sélectionnées et exécutées en réponse à l'état détecté du MSS et aux objectifs établis. Un éditeur de procédure graphique a également été développé en vue de la génération de procédure. Des procédures applicables au télémanipulateur de la navette ont été intégrées au prototype du système.

Système de planification

Un système de planification est développé en vue d'aider initialement à la production de plans d'exploitation du MSS. Ce système sera indépendant du domaine, traitera à la fois les plans de haut

niveau et de bas niveau, effectuera des raisonnements mettant en jeu les ressources et le temps et sera implanté dans une structure à couches permettant les extensions futures. Un outil d'acquisition de connaissances (MEDUSA) a été créé afin d'aider les ingénieurs chargés de l'exploitation du MSS à effectuer l'analyse et le développement formel des tâches du MSS. Le produit de MEDUSA est une base de connaissances sur l'exploitation du MSS, dont le planificateur a besoin mais qui n'existe actuellement pas.

Planification de trajectoire et évitement d'objets

Le système d'évitement de collision développé par le groupe ATD de Spar pour le MSS de base utilise des modèles de la station spatiale et du MSS. La représentation de la station dans un format d'arbre octo permet d'effectuer des vérifications très efficientes des collisions imminentes. Cette représentation mène aussi à un modèle en espace libre pouvant servir à la production automatisée de parcours sans collision. Des techniques de vérification des modèles ont été mises au point. Par ailleurs, un prototype de ce système a été développé et sera implanté au banc d'essai au sol du SPDM. Les travaux se poursuivent relativement aux algorithmes d'évitement des collisions en temps réel utilisant la redondance des manipulateurs du MSS.

Systèmes de vision

L'équipement de commande du MSS (MCE) comporte un élément fondamental appelé unité de vision artificielle (AVU), qui jouera un rôle important dans la commande manuelle et automatique des manipulateurs et des caméras. Les spécifications de base indiquent que l'AVU permettra les opérations de rendez-vous et de proximité, y compris la poursuite de charge utile, la capture et l'accostage. Dans un mode, l'AVU fournira des données à l'astronaute sous la forme d'affichages textuels et graphiques. Dans un autre, les données de l'AVU permettront la commande en boucle fermée des manipulateurs du MSS pour ces opérations.

Outre le développement du SVS expérimental de vol, l'ASC a soutenu la conception et l'assemblage d'une plate-forme de développement de la vision machine (MVDP) à ordinateur, qui a été assemblée par le Laboratoire des structures et matériaux de l'Établissement aéronautique national (maintenant l'Institut de recherche aérospatiale) du Conseil national de recherches. Dans le cadre d'un programme de recherche conjoint, l'ASC et la Division de génie électrique (maintenant l'Institut de technologie de l'information), également du CNRC, ont développé un explorateur laser intelligent à résolution variable piloté par modèle. L'ASC a également contribué au développement d'un système de stéréovidéo/stéréographie, parrainé par le Groupe de la robotique de l'Institut militaire et civil de médecine environnementale. Il est à prévoir qu'un programme coordonné faisant appel aux contributions de chacun de ces trois groupes et de l'équipe industrielle de la station spatiale sera établi de façon formelle dans le but de développer des prototypes technologiques de vision satisfaisant aux exigences de base d'un manipulateur autonome à capteurs pour le MSS/SPDM. Ces technologies de la vision seraient utilisées dans un système à IA comportant des rôles en temps réel pour la planification et l'exécution automatiques de trajectoires, l'évitement des collisions, la surveillance d'état ainsi que la détection et la localisation des pannes.

Système d'information sur l'intégration, l'essai et la maintenance en orbite (OITMIS)

Ce système a été développé par l'Université de Waterloo de concert avec le groupe ATD de Spar afin de permettre la récupération de données et l'accès électronique à la base de données techniques du MSS, sous la forme de documents, de schémas, d'essais, d'opérations, de procédures de maintenance, etc. Le système doit comporter des caractéristiques offrant électroniquement les mêmes possibilités qu'une bibliothèque à ouvrages sur papier (avec un bon système de gestion de bibliothèque), dotée de photocopieuse et de secteurs d'étude.

Évolution

Pour ce qui est des possibilités d'évolution du MSS, l'Agence spatiale canadienne prend également part aux travaux dans un certain nombre de secteurs de recherche et développement en IA, par le parrainage d'activités faisant appel à l'industrie. Ces activités se déroulent dans la section de développement technologique avancé (ATD) de l'équipe industrielle de la station spatiale ainsi que dans le cadre du programme TSAR.

Le programme TSAR a été établi dans le but d'inviter les compagnies canadiennes qui ne font pas partie de l'équipe industrielle de la station spatiale, de même que les universités et les organismes de recherche, à prendre part au développement de technologies d'automatisation et de robotique stratégiquement importantes du point de

vue de l'évolution du MSS. Les contrats sont souvent exécutés en deux phases. La phase 1 vise l'exécution d'études préliminaires/de faisabilité, la préparation d'un plan d'exploitation et la présentation d'une proposition technique détaillée pour la phase 2. Durant la phase 2, l'équipe doit démontrer une preuve de conception relative à une application spatiale et(ou) de Terre.

Systèmes experts

L'ASC a financé d'importants travaux de R-D effectués sur les systèmes experts au sein de l'industrie, dans une large mesure par l'intermédiaire du programme TSAR et des fonds consacrés au développement technologique de pointe du MSS de la station spatiale. Un certain nombre de contrats sont actuellement en vigueur dans divers secteurs du développement des systèmes experts.

Diagnostics et planification

Les diagnostics et la planification sont considérés comme deux des secteurs exigeant une participation importante de l'opérateur humain pour toute la durée d'une mission du système spatial. Pour le moment, cinq contrats ont été adjugés à l'industrie dans le domaine des diagnostics et de la planification. En voici une description.

1. *Système expert automatisé de planification des opérations*, Dynacon Enterprises Limited, Toronto (Ontario). Une coquille tableau noir «AESOP» est utilisée comme structure sous-jacente du système de planification. Les recherches portent sur l'interface utilisateur, les facteurs humains en cause, la gestion des ressources et un module d'explications. (Les fonds prévus par le programme TSAR de la station spatiale sont de 900 000 $ pour 3 ans.)

2. *Automatisation des opérations relatives à la détection des défaillances, à l'établissement des diagnostics, à la surveillance de l'état du système et à la prévision des défaillances*, Centre for Frontier Engineering Research (CFER), Edmonton (Alberta). Ce système établit les diagnostics et la planification de façon hiérarchique au moyen de techniques classiques en temps réel et d'une variété de techniques d'IA à base de règles et à base de modèle. Il est prévu que le système recommande à l'opérateur certaines mesures correctives, par exemple pour la maintenance de la commande du ballast d'une plateforme de forage semi-submersible, dans divers modes de fonctionnement et conditions météorologiques. Le système offre la possibilité d'une exploitation dans un environnement très dynamique et variable dans le temps, où il est courant que la dégradation du fonctionnement provienne de données erronées. (Les fonds prévus par le programme TSAR de la station spatiale sont de 900 000 $ pour 3 ans.)

3. *Système de surveillance d'état, de gestion d'alimentation et de contrôle (HMPMCS)*, ISE Research Limited, Port Coquitlam (Colombie-Britannique). Ce système assure l'établissement des diagnostics et la gestion des ressources (planification) relativement à un système d'alimentation électrique d'engin spatial (radar spatial). La partie diagnostic intègre des techniques en temps réel et des techniques d'IA à un système capable de réagir à des défaillances uniques en temps réel et à des défaillances multiples en différé. La détection et la localisation des défaillances en temps réel fait appel à des techniques classiques tandis que le système en différé repose à la fois sur une approche à base de règles et à base de modèle pour les diagnostics. La partie gestion des ressources (planification) repose sur une structure de résolution de contraintes à base de règles. (Les fonds prévus par le programme TSAR de la station spatiale sont de 190 000 $ pour la phase 1, terminée au printemps 1990. En attente d'approbation, les fonds pour la phase 2 seraient de 900 000 $ pour 3 ans.)

4. *Automatisation des opérations relatives à la planification en cas de contraintes, soutien automatisé à la planification des missions et résolution de problèmes*, Softwords, Victoria (Colombie-Britannique). Le contrat a récemment subi des modifications afin qu'un système de formation à base de système expert puisse être développé au niveau d'un système de planification assistée par ordinateur. Le système vérifiera/évaluera des plans candidats, puis sélectionnera le plan approprié, compte tenu des contraintes imposées par le système et l'environnement. (Les fonds prévus par le programme TSAR de la station spatiale sont de 900 000 $ pour 3 ans.)

5. *Automatisation des opérations relatives aux systèmes automatisés de gestion des données*, Spectrum Engineering Corporation Limited, Peterborough (Ontario). Le système fait appel à Nial pour manipuler et tenir à jour la base de connaissances et les structures de données en vue de la détection des défaillances, de l'établissement des diagnostics, de la prévision des

défaillances, de la préparation des rapports rétrospectifs des défaillances, de l'analyse de la fiabilité et de la présentation des données. La maintenance des installations de câblage submersibles remorquées constitue un exemple d'application étudiée. (Les fonds prévus par le programme TSAR de la station spatiale sont de 900 000 $ pour 3 ans.)

Systèmes tutoriels

Automatisation des opérations relatives à la formation des équipes : Systèmes tutoriels intelligents, Acquired Intelligence Inc., Victoria (Colombie-Britannique). Par l'intermédiaire de techniques automatisées d'acquisition de connaissances et d'un auteur de plan de cours, l'expert-instructeur développe une base de connaissances reliées à un domaine et un cours tutoriel. L'étudiant entre ensuite en interaction avec le tuteur afin d'accroître ses connaissances du domaine. Ce système comprend une interface utilisateur perfectionnée reposant sur des techniques hypermédia et de modélisation de l'utilisateur. (Les fonds prévus par le programme TSAR de la station spatiale sont de 900 000 $ pour 2,5 ans.)

Robotique autonome

Une autre demande de propositions dans le cadre du programme TSAR repose sur le développement de la technologie offrant des ressources robotiques autonomes limitées ou supervisées pour le MSS. La robotique télécommandée et la robotique autonome constituent l'assise du SPDM intégré au MSS. On reconnaît toutefois que l'accent se déplacera de la première à la seconde au cours des 30 années de vie de la station spatiale Freedom. Le secteur de l'IA recèle de nombreuses promesses de développement technologique vers la robotique autonome du fait qu'il permet de modeliser l'environnement, de fusionner des capteurs, de planifier des mesures/tâches, de planifier des parcours et d'éviter les obstacles, d'appliquer des architectures hiérarchiques, des communications et de l'ordonnancement, et de gérer des défaillances.

On projette d'effectuer d'ici l'été 1990 l'examen de six propositions techniques détaillées de robotique autonome, en provenance de :

- Dynacon Enterprises Ltd., Downsview (Ontario),
- Vadeko International Inc., Mississauga (Ontario),
- Thomson CSF Systems Canada Ltd., Nepean (Ontario),
- International Submarine Engineering Ltd., Port Coquitlam (Columbie-Britannique),
- Robotics Systems International Ltd., Sidney (Colombie-Britannique),
- Technologies MPB, Dorval (Québec).

Les contrats de la phase 2 seront subséquemment adjugés à l'automne 1990.

Planification de trajectoire et évitement des obstacles

Une demande de propositions dans le cadre du programme TSAR a été clôturée à la fin de juin 1990. Cette demande porte sur la planification des trajectoires et l'évitement des obstacles du manipulateur à commande automatique en temps réel, avec le minimum d'intervention humaine. On s'attend à ce que des techniques d'IA perfectionnées permettront de faire face plus efficacement à l'environnement dynamique d'une station spatiale. Les entreprises choisies étudieront l'aptitude de ces techniques à détecter les objets, à repérer les conditions éventuellement dangereuses, à planifier les trajectoires du manipulateur et à donner des réponses, tout cela en temps réel. L'adjudication des contrats de la phase 1 est prévue pour l'automne 1990.

Systèmes de vision

Dans le cadre de ce projet TSAR, six contrats de la phase 1 relatifs à des systèmes de vision améliorée (environ 100 000 $ chacun) ont été adjugés à :

- Hymarc Ltd., Ottawa (Ontario),
- Oerlikon Aérospatiale Ltée, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec),
- Optech Inc., Downsview (Ontario),
- Sensor Adaptive Machines Inc., Windsor (Ontario),
- Telepresence Research Ltd., Vancouver (Colombie-Britannique),
- Virtek Ltd., Waterloo (Ontario).

En concurrence pour l'obtention des contrats de la phase 2, chaque entrepreneur proposera un système de vision qui servira à la reconnaissance et à l'identification des objets, aux levés tridimensionnels et à la surveillance ainsi qu'à la détermination de la pose en temps réel. Les contrats de la phase 2 seront adjugés à la fin de 1990.

Travaux internes de la DSM

La Direction de la mécanique spatiale (DSM) mène un certain nombre de projets relatifs au développement des techniques d'IA pour des applications spatiales. Les projets se font habituellement

avec la collaboration des ressources techniques internes, universitaires et industrielles.

Diagnostics et planification

À l'intérieur du Groupe des systèmes informatiques et intelligents de la DSM, les recherches en IA mettent l'accent sur les systèmes experts appliqués à la planification et aux diagnostics. Les projets de recherche interne portent sur le système de planification basée sur des cas (CBPS) et sur le système de diagnostic de défaillances multiples (MFDS).

- *Le système de planification basée sur des cas* utilise des techniques de raisonnement basé sur des cas pour tenir à jour une bibliothèque de plans et pour effectuer la sélection, la révision, l'exécution, la reconception dynamique et l'évaluation de plans. Il est actuellement appliqué aux circuits d'alimentation électrique des engins spatiaux et permet la planification des ressources.

- *Le système de diagnostic de défaillances multiples* repose sur des techniques de raisonnement basé sur un modèle et de maintenance de la véracité basée sur des hypothèses en vue de l'exécution de diagnostics dans un environnement contenant des défaillances multiples d'un circuit électrique. En présence d'autres défaillances, le MFDS détecte ces défaillances, établit le diagnostic pour l'élément défectueux, tient à jour un rapport rétrospectif des défaillances, tient à jour les paramètres du modèle et recommande des mesures correctives.

Le principal participant à ces recherches est P.J. Adamovits.

Apprentissage automatique

Au sein du Groupe de la dynamique de la DSM, la recherche en IA s'est principalement centrée sur les réseaux neuronaux artificiels appliqués aux systèmes non linéaires et à la dynamique des manipulateurs. Des réseaux neuronaux utilisant l'apprentissage par propagation arrière ont permis de modéliser la prévision des systèmes structuraux non linéaires et des séries temporelles chaotiques. Les performances d'apprentissage se sont améliorées par suite de l'implantation d'une architecture parallèle par inhérence dans un système à trans-ordinateurs multiples. Un réseau neuronal spécialisé a effectué l'apprentissage de la dynamique inverse d'un robot à plusieurs degrés de liberté. Cette architecture peut se généraliser à des configurations de manipulateur semblables, englobe les propriétés de base des équations dynamiques et permet la collaboration spontanée de plusieurs réseaux. Tous ces facteurs contribuent aux ressources du réseau et permettent le transfert du logiciel de simulation à un banc d'essai de matériel en temps réel à deux branches.

Le principal participant à ces recherches est D.P.W. Graham.

Validation automatisée de modèles mathématiques thermiques (TMM)

Les recherches en IA menées au sein du Groupe de mécanique appliquée de la DSM portent sur l'application de la technologie des systèmes experts à la validation automatisée de TMM, en temps quasi-réel durant les essais thermiques, pour le matériel à l'essai. La validation de TMM constitue une partie nécessaire mais coûteuse d'un programme relatif aux engins spatiaux. Deux éléments importants des dépenses résident (i) dans le temps que consacre le personnel technique, à la suite des essais, pour analyser les données et modifier le TMM de façon qu'il corrobore les données et (ii) dans l'impossibilité, après l'analyse des données, d'exécuter des essais supplémentaires dans le but d'examiner les données douteuses ou les comportements imprévus (l'occasion étant perdue en raison du fait que l'article à l'essai peut alors avoir été retiré de la chambre, sinon déjà expédié ailleurs). L'automatisation du processus d'obtention d'une validation du TMM en temps quasi-réel réduira considérablement ou éliminera ces deux facteurs de dépenses.

Le problème de validation automatisée peut être considéré comme un problème mathématique inverse, pour lequel les températures du TMM (qui correspondent aux emplacements des capteurs d'essai) sont connues et les coefficients du TMM (groupes de paramètres de conception) doivent être déterminés. La connaissance de ce problème est intégrée (a) au TMM, (b) aux données d'essai, et (c) à une structure de raisonnement logique floue basée sur des règles, conçue pour reproduire les processus de raisonnement des experts thermiques quand ils tentent manuellement de corroborer (a) et (b).

Le principal participant à ces recherches est V.A. Wehrle.

Conclusions

Les travaux d'intelligence artificielle de l'Agence spatiale canadienne ont été décrits brièvement.

Ils comprennent les aspects technologiques des diagnostics, de la planification, des systèmes tutoriels, de l'apprentissage machine, des systèmes de vision, de la planification des trajectoires et de l'évitement des obstacles. La configuration de base du MSS/SPDM renferme une certaine part d'intelligence artificielle, et il est clair pour l'ASC que l'intégration future de techniques perfectionnées d'IA développées par l'intermédiaire de travaux de recherche et de développement évolutionnistes et internes améliorera considérablement le déroulement, la planification et l'exécution de tâches au sol et sur orbite.

Préparé par : Dr Steve MacLean, Peter Adamovits et David Hunter.

Ministère des Communications, Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail

Introduction

Le Centre, qui a ouvert ses portes le 5 novembre 1985, s'inscrit dans le cadre du programme de recherche du ministère des Communications. Le CCRIT sert de catalyseur à l'utilisation croissante des télécommunications et de l'informatique en réponse aux besoins des spécialistes en information du bureau de l'avenir. La plus grande part de la recherche entreprise au Centre est appliquée, tandis qu'une faible proportion (20 %) est consacrée à divers aspects de la recherche fondamentale. Des projets de recherche et développement en intelligence artificielle sont mis en oeuvre au sein de la Direction de la technologie avancée, qui fait ici l'objet d'une description détaillée. Les autres directions du CCRIT sont celles de la recherche organisationnelle, des systèmes intégrés et de la collaboration externe.

Les recherches du CCRIT s'effectuent dans le cadre de projets mixtes avec des partenaires des secteurs privé, public et académique de manière à assurer le transfert et l'application efficaces de la technologie en provenance de laboratoires universitaires et gouvernementaux et à répondre ainsi aux besoins commerciaux du secteur privé. Le transfert peut s'effectuer plus facilement grâce au programme d'échanges nationaux, qui constitue une façon innovatrice d'aborder le transfert des technologies et le recrutement de personnel scientifique dans l'optique d'échanges d'employés. Des experts sont détachés au CCRIT pour des périodes allant de six mois à peut-être trois ans, afin d'y prendre part à des projets de recherche. La nature dynamique des équipes de recherche permet des interventions opportunes dans le domaine en changement rapide des nouvelles technologies du poste de travail.

Projets d'intelligence artificielle

La Direction de la technologie avancée compte deux principaux groupes intéressés au domaine de l'intelligence artificielle : le Groupe de la traduction assistée par ordinateur et le Groupe des systèmes experts. On trouvera ci-dessous une vue d'ensemble de quelques-uns de leurs projets de recherche les plus marquants.

Systèmes experts

Ces systèmes peuvent se diviser en trois : les systèmes experts de gestion des connaissances, les systèmes experts de gestion du savoir-faire et les systèmes experts de gestion de l'information. La recherche sur la gestion des connaissances porte essentiellement sur les méthodes d'acquisition et de modélisation des connaissances. Cette section est dirigée par Joël Muzard. Les systèmes experts de gestion du savoir-faire visent à fournir des moyens d'éducation et de formation. Kim Dalkir est responsable de ce secteur. Enfin, les systèmes experts de gestion de l'information peuvent offrir des techniques plus perfectionnées d'indexation automatique des documents. Cette recherche est supervisée par Jennifer Farkas.

L'objectif principal de ces groupes consiste à développer des applications de systèmes à base de connaissances pour les travailleurs dans le domaine de l'information de bureau. Le secteur de la bureautique donne d'innombrables occasions d'implanter des systèmes à intelligence artificielle. Dans la mesure du possible, nous tentons d'appliquer le principe de la valeur ajoutée, c'est-à-dire d'ajouter une couche intelligente à des systèmes de bureautique existants. Cette façon de procéder rend les systèmes plus facilement utilisables que s'ils étaient des systèmes isolés et autonomes. Mais avant tout, nos travaux sont motivés par les besoins de l'utilisateur plutôt que par les pressions technologiques : nos projets de recherche et développement doivent répondre aux besoins réels des utilisateurs et apporter en tout temps des solutions commerciales réelles.

Au nombre des systèmes experts implantés jusqu'à maintenant, on peut mentionner QUARTZ, outil intelligent conçu pour aider les analystes des gouvernements à évaluer des projets présentés à des fins de financement dans le cadre du programme EDER (entente de développement économique et régional). Ce système a initialement été développé par les ministères fédéraux et provinciaux des Communications. Il a par la suite subi des modifications afin de répondre aux besoins du Centre de développement des transports (QUARTZ II) ainsi qu'aux besoins internes du CCRIT (système PERIDOT).

Un autre exemple nous est donné par AMETHYST, système intelligent d'aide à l'exécution des tâches développé à l'intention des commis de la paie et des avantages sociaux de l'Administration centrale du ministère des Communications et

utilisé pour les transactions de portée à l'effectif (embauche de quelqu'un dans la Fonction publique). Le système AMETHYST est constitué de 13 systèmes experts, correspondant chacun à un secteur de la paie et des avantages sociaux (admissibilité à un salaire, assurances médicales, impôt sur le revenu, etc.), ainsi que d'une base de connaissances à interface supplémentaire régissant l'interaction avec l'utilisateur de façon intelligente. Le système a été intégré à une base de données sur les employés et sur les taux de salaire. Cette base de données sert de lien avec le système MEMO, qui peut lire l'information sur des documents (par ex. un ROD, Rapport d'opération de dotation), introduire cette information dans la base de données, recevoir des déductions et données de systèmes experts, puis faire imprimer les formules appropriées dûment remplies.

Ces systèmes sont des prototypes opérationnels qui ont été développés sur ordinateurs PC IBM (ou compatibles) à l'aide des outils ARGUMENT et DECIDEX, une programmation supplémentaire ayant été effectuée dans le but d'adapter encore mieux l'application aux besoins de l'utilisateur et d'obtenir une intégration complète aux environnements d'utilisation.

Parmi les projets actuels de développement d'une base de connaissances, on mentionnera ALADIN, destiné à aider les spécialistes des connaissances à effectuer l'acquisition et la représentation de connaissances, et STAT, axé sur l'analyse des données statistiques. Un certain nombre d'études de faisabilité sont également en cours, notamment INDEX, étude de faisabilité sur l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle pour l'indexation de documents, et INTELLIGENT COURSE SCHEDULER (programmateur de cours intelligent), étude de faisabilité portant sur l'emploi de l'intelligence artificielle pour préparer les plans de cours à l'intérieur du ministère de la Défense nationale.

Enfin, plusieurs travaux de recherche exploratoire ont actuellement lieu, notamment dans le cadre du projet INTELLIGENT TRAINER (système de formation intelligent) en collaboration avec la Direction de la recherche organisationnelle, qui examine l'application de l'intelligence artificielle aux systèmes de formation intelligents destinés à des employés de la Fonction publique et le projet CONVERSATIONAL INTERFACE (interface conversationnelle), qui cherche à déterminer les possibilités d'application de la théorie des constructions personnelles, de la modélisation des systèmes viables et de la théorie de la conversation à la conception d'une interface pour systèmes tutoriels intelligents.

Traduction assistée par ordinateur

Si la traduction entre langages naturels se comparait à un processus de transcodage simple, comme par exemple entre deux langages formels, le problème d'automatisation de la traduction humaine aurait été résolu depuis longtemps. Mais ce n'est évidemment pas le cas. Comme chaque traducteur le sait, la traduction correcte d'un texte exige d'abord sa *compréhension*. De plus, le niveau de compréhension que requiert la traduction se situe au-delà de la formulation littérale mot à mot du texte lui-même et englobe non seulement ce que l'auteur voulait dire sans l'exprimer clairement, mais aussi les connaissances extralinguistiques de l'auteur (et du traducteur) ainsi que l'aptitude de ces derniers à effectuer un raisonnement de sens commun. Voilà pourquoi la traduction machine est à bon droit considéré comme une branche de l'intelligence artificielle et, si notre objectif consiste à émuler complètement les possibilités du traducteur humain, comme un secteur de recherche fondamentale.

Le CCRIT est doté d'une petite équipe de traduction assistée par ordinateur ainsi que d'un programme extrêmement ambitieux de recherche et développement. L'équipe se compose de quatre chercheurs à plein temps, de deux chercheurs invités et d'un certain nombre d'étudiants à temps partiel, qui réunissent des connaissances en linguistique, en informatique, en traduction et en intelligence artificielle. Cette équipe est dirigée par Pierre Isabelle, chercheur de réputation internationale dans le domaine et anciennement directeur scientifique du groupe TAUM bien connu de l'Université de Montréal.

L'objectif à court terme du groupe est de développer un poste de travail spécialisé pour le traducteur. Il ne s'agit pas là d'automatiser le processus de traduction comme tel, mais simplement d'intégrer un ensemble d'utilitaires qui aideront le traducteur humain à s'acquitter plus efficacement de ses tâches. Ces utilitaires comprendraient des programmes de traitement de texte bilingues, de télécommunication de textes, de constitution de glossaires personnels et collectifs, de comparaison de deux versions d'un texte donné, d'accès à des dictionnaires électroniques et à des banques de terminologie (locales ou éloignées), en plus des divers autres outils d'aide à la rédaction. Faisant

totalement appel à du logiciel disponible sur le marché, une première version de notre poste de travail est actuellement soumise à des essais au sein du Bureau de la traduction du gouvernement fédéral. En attendant les résultats de ces essais, des travaux ont déjà été entrepris en vue du développement d'un deuxième poste plus perfectionné.

Entre temps, nous espérons déterminer un ou plusieurs sous-langages prometteurs pour lesquels des systèmes spécialisés de traduction machine pourraient être développés, sur le modèle du réputé système MÉTÉO. Nous sommes convaincus que, étant donné l'état actuel de la traduction machine, cette sorte d'application très restreinte, conçue particulièrement pour des domaines textuels à syntaxe simple et grand volume, constitue la seule façon d'obtenir simultanément une grande qualité et une automatisation complète. La production de textes bilingues est un type connexe de technique également applicable aux sous-langages simples. Plutôt que d'automatiser la traduction d'un texte rédigé antérieurement, la production de textes bilingues vise à automatiser le processus de rédaction lui-même, appliqué à deux textes ou plus en parallèle. Il semble qu'il s'agisse de la façon idéale d'aborder les rapports stéréotypés qui synthétisent des tendances dans des bases de données numériques. Avec l'appui du nouveau fonds de R-D en IA, le CCRIT est sur le point de lancer un projet qui automatisera l'ébauche de plusieurs types de rapports résumés bilingues produits à Statistiques Canada.

En fin de compte, la seule façon de résoudre la crise mondiale de la traduction consiste toutefois à développer des systèmes de traduction machine plus puissants, plus «intelligents» que ceux disponibles de nos jours. Cela est en fait l'objectif du troisième volet de notre programme : appliquer les techniques les plus récentes d'intelligence artificielle et de traitement des langages naturels aux problèmes particuliers de la traduction. Afin d'illustrer les progrès que nous avons réalisés dans nos recherches, nous avons conçu un prototype de système appelé CRITTER, qui traduit les rapports sur les marchés agricoles. Bien que CRITTER soit un système expérimental, implanté en Prolog sur des postes de travail Sun, il présente néanmoins des aptitudes linguistiques étendues. Par exemple, le système est capable de reconnaître et de produire des paraphrases lexicales et structurales. De plus, CRITTER est le premier système de traduction machine entièrement réversible : il peut traduire du français à l'anglais et de l'anglais au français, en utilisant exactement les mêmes grammaires et dictionnaires. Si l'on espère que les systèmes de traduction machine disponibles sur le marché en viennent un jour à susciter le respect des traducteurs humains, il devra auparavant offrir ce type de caractéristiques.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Marcel Drouin, Directeur
Direction de la technologie avancée
Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail
1575, boulevard Chomedey
Laval (Québec)
H7V 2X2
Téléphone : (514) 682-3400
Télécopieur : (514) 686-1990

Ministère des Communications, Centre de recherches sur les communications

Reconnaissance de la parole au moyen de réseaux neuronaux

Les travaux sur la reconnaissance automatique de la parole menés au sein de la Division de recherche en comportement du Centre de recherches sur les communications visent le développement d'un système de reconnaissance de la parole continue indépendant du locuteur, qui puisse entrer en interaction avec de nouveaux services de télécommunications. Des progrès récents réalisés à d'autres laboratoires ont démontré qu'il est possible d'obtenir un rendement suffisamment bon avec un vocabulaire d'environ 1000 mots. Ce rendement provient de l'amélioration des représentations de la parole et de la disponibilité d'une vaste base de données de parole segmentée servant à l'apprentissage des systèmes en cause. Les travaux du CRC font appel à la même base de données pour représenter la variabilité de la parole dans des modèles de réseaux neuronaux. Les recherches ont comme objectifs importants de déterminer la façon de modulariser les systèmes de reconnaissance afin de permettre l'apprentissage de tous les sons de la parole, la façon d'intégrer l'information prosodique et phonémique et la façon de traiter les aspects temporels de la parole.

Le but immédiat consiste à développer une interface vocale applicable aux nouveaux services d'information du type assuré par télétexte ou audiotexte. Si les interfaces d'ordinateur pouvaient comprendre le langage parlé, bon nombre de personnes auraient plus facilement accès à l'information existante. Par exemple, la parole pourrait devenir le moyen d'accéder à la base d'information sur le SIDA, utilisée pour l'essai sur le terrain du système d'interrogation en langage naturel (CHAT) du CRC. Elle permettrait aussi d'entrer commodément en interaction avec le matériel terminal dans un environnement mobile, où la commande manuelle est difficile et peu sûre. Les services audiotexte en mode de diffusion pourraient fournir aux automobilistes de l'information précieuse et à jour sur l'état de la circulation et des routes locales. L'interface vocale pourrait également servir à commander avec le minimum de distractions diverses fonctions utilisées à bord d'un véhicule, par exemple l'exploration des canaux radio et le fonctionnement du cassettophone.

Conversations en langage naturel avec les ordinateurs

Développée à la Division de la recherche en comportement du Centre de recherches sur les communications, la technologie d'accès à l'hypertexte conversationnel (CHAT) permet de récupérer des paragraphes d'information sur un sujet particulier en posant des questions en anglais ou en français. Les questions et réponses consécutives ressemblent à une conversation ou à un dialogue avec l'ordinateur.

Lorsqu'une personne tape une question en langage naturel, le logiciel compare la question à un certain nombre de modèles prédéterminés joints aux paragraphes du texte. Une fois que le logiciel a établi quels modèles correspondent le mieux à la question, le texte relatif à ces modèles est affiché. Ainsi, les connaissances d'experts sur un sujet peuvent être représentées à la fois par les paragraphes du texte et le contenu des modèles.

La recherche qui présente cette technique aux utilisateurs a démontré qu'un nombre relativement faible de modèles permet d'accéder aux réponses dans le cas de la plupart des questions posées. Elle a également fait ressortir que les gens sont très tolérants à l'égard des réponses qui, de temps à autre, ne répondent pas directement à leurs questions. La recherche en cours vise à automatiser l'entrée d'information et à vérifier CHAT avec de grandes bases de données et tout un éventail de sujets.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Dorothy Phillips, Ph.D.
Recherche en comportement
Centre de recherches sur les communications
3701, avenue Carling
Ottawa (Ontario)
K2H 8S2

Ministère de la Défense nationale

Le ministère canadien de la Défense nationale (MDN) n'a pas de programme coordonné de recherche et développement en intelligence artificielle (IA), ni de programme coordonné de mise en oeuvre des technologies de l'IA dans ses opérations. Le ministère considère l'IA comme un domaine technologique à explorer au besoin pour trouver des solutions à certains types de problèmes. Selon les renseignements obtenus, il semblerait que la seule application pratique de l'IA dans les Forces armées canadiennes soit un système conseiller sur les procédures de maintenance d'un sous-système particulier du Réseau informatique de la Défense. Cependant, dans les différents centres de recherches pour la défense, de même qu'au Centre d'analyse et de recherche opérationnelle, on effectue, et on continuera d'effectuer des recherches portant principalement sur l'application des techniques d'intelligence artificielle, recherches qui aboutiront peut-être à l'implantation de ces techniques dans les opérations des Forces armées canadiennes.

Les descriptions suivantes ne sont pas exhaustives, mais elles donnent un juste aperçu des types d'applications de l'IA qui sont étudiés ou envisagés dans les centres de recherches pour la défense. Certains des travaux sont réalisés dans les centres de recherches, tandis que d'autres ont été confiés à des sous-traitants.

Centre de recherches pour la défense — Région de l'Atlantique

Au Centre de recherches pour la défense — Région de l'Atlantique (CRDA), à Dartmouth (Nouvelle-Écosse), on poursuit, depuis plusieurs années, des travaux de recherche et développement sur l'applicabilité des techniques d'IA à la détection et à la classification des vaisseaux à partir des signaux sonar passifs. Les travaux actuels portent sur les outils d'analyse des caractéristiques des signaux sonar passifs, l'automatisation de la détection des caractéristiques, et l'application de la cognitique au développement d'une base de connaissances et d'un outil de classification pour un système expert. On travaille à l'implantation d'un système de concepts qui permettra de raffiner et d'évaluer les techniques d'IA.

Centre de recherches pour la défense — Valcartier

Au centre de recherches pour la défense — Valcartier (CRDV), près de Québec, on a commencé à examiner de quelle façon les outils construits à l'aide de coquilles de systèmes experts disponibles dans le commerce peuvent aider les analystes militaires à effectuer des fonctions de collecte et d'interprétation des renseignements qui nécessitent des connaissances sur les positions et les stratégies de l'ennemi. Ces études engloberont ultérieurement d'autres fonctions relatives aux opérations de renseignements, y compris la modélisation et la prévision des stratégies ennemies. On a réalisé une petite étude sur les méthodes manuelles et automatisées d'acquisition des connaissances des spécialistes militaires. Un autre groupe de recherche examine l'applicabilité de l'IA (des systèmes experts en particulier) dans le domaine de la fusion des données tactiques, en élaborant un prototype expérimental qui permettra d'évaluer la faisabilité de l'automatisation de certaines parties du processus de fusion. Un troisième groupe compte appliquer les systèmes experts aux problèmes d'évaluation des menaces et d'affectation des armes dans l'environnement maritime.

Centre de recherches pour la défense — Ottawa

Au Centre de recherches pour la défense — Ottawa (CRDO), on étudie l'applicabilité et l'efficacité des techniques d'intelligence artificielle dans un certain nombre de domaines, dont les communications par satellite, la gestion des réseaux de communication, les radars à ouverture synthétique, la classification des vaisseaux, la fusion des données tactiques recueillies par détecteurs simples ou multiples, l'analyse des situations, la coordination des armes, et la reconnaissance des configurations. Dans le domaine des communications par satellite, on étudie les techniques d'intelligence qui pourraient être utilisées dans le traitement de données relatives aux contraintes que subissent ces systèmes, et pour déduire les réponses appropriées. Dans le domaine des radars, les travaux de recherche en cours portent sur l'évaluation de divers algorithmes pour la classification automatique des vaisseaux à partir d'images radar à haute résolution. En général, ces algorithmes englobent les domaines de l'intelligence artificielle, des réseaux neuronaux et de l'analyse statistique. En ce qui concerne les algorithmes d'intelligence artificielle, l'utilisation de la reconnaissance des structures syntaxiques, pour reconnaître les caractéristiques robustes des images, et l'utilisation de la théorie de Dempster-Shafer, pour combiner les décisions prises de façon indépendante, semblent offrir des solutions viables aux problèmes de recherche.

Institut militaire et civil de médecine environnementale

L'Institut militaire et civil de médecine environnementale (IMCME), situé à Downsview (Ontario) s'intéresse à l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle dans les domaines suivants : robotique, vision artificielle, apprentissage automatique, reconnaissance des configurations dynamiques, interaction homme–ordinateur et systèmes tuteurs intelligents. En robotique, les activités de l'Institut visent à faire progresser la reconnaissance des objets tridimensionnels au moyen de la vision stéréoscopique, en vue de l'utilisation de robots autonomes et semi-autonomes dans des environnements non structurés. On travaille au développement d'un système de vision artificielle pour la reconnaissance d'objets fondée sur modèles (ex. : la reconnaissance d'objets dans les photographies aériennes de cibles militaires). Les travaux de modélisation du cerveau portant sur l'apprentissage incitatif se font dans une perspective de calcul faisant appel aux représentations et processus des réseaux neuronaux. On étudie la dynamique des réseaux neuronaux génétiques à fort degré de couplage pour la reconnaissance de configurations dynamiques, comme la parole. On s'intéresse au réseau en tant que reconnaisseur pratique et en tant que modèle pour les théories dynamiques sur la cognition humaine. Dans le domaine de l'interaction homme–ordinateur, on a développé une structure appelée «Protocoles en couches et modèles explicites», basée sur la dynamique non linéaire, la théorie des codes et la modélisation IA. Chacun des partenaires de communication prend modèle sur l'autre, utilisant ses modèles de tâches, d'univers, de dialogue et de partenaire. Cette structure est utilisée dans le développement d'interfaces semi-intelligentes. Dans le domaine des systèmes tuteurs intelligents, il y a deux projets reliés à l'IA. Le premier utilise la théorie des construits personnels de Kelly pour développer un modèle d'apprentissage qui pourra être utilisé dans un système tuteur intelligent pour entraîner les militaires à reconnaître les cibles visuelles. Le second utilise une coquille de système expert pour élaborer un outil pédagogique intelligent permettant de comparer la performance d'un étudiant sur un simulateur de tir à PIECES 2, un modèle du comportement attendu.

Centre de recherches pour la défense — Suffield

Le Centre de recherches pour la défense — Suffield (CRDS), à Ralston (Alberta) n'a actuellement aucun projet de recherche faisant appel aux techniques d'IA. On prévoit cependant que les efforts visant la télédétection des champs de mines feront bientôt appel aux systèmes experts, et l'on explore l'utilisation des réseaux neuronaux dans les pilotes automatiques d'aéronefs téléguidés. On poursuit le développement d'un banc d'essai robotique télécommandé qui remplira plusieurs rôles, tels que la détection des pièces d'artillerie, l'évaluation de l'état des pistes d'atterrissage et la reconnaissance, dans l'optique de l'accroissement futur de l'autonomie des véhicules.

Centre de recherches pour la défense — Région du Pacifique

Le Centre de recherches pour la défense — Région du Pacifique (CRDP), à Esquimalt (Colombie-Britannique) s'intéresse à l'application des techniques d'intelligence artificielle aux problèmes de traitement d'images et de détection de signaux. On envisage également d'utiliser l'IA dans le développement d'applications telles que des aides pour l'analyse d'enregistrements sonar en vue de prendre des mesures défensives contre les mines.

Le Centre canadien d'analyse et de recherche opérationnelle

Au Centre canadien d'analyse et de recherche opérationnelle (CCARO), à Ottawa (Ontario), on examine l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle dans une vaste gamme de domaines, comme la planification et la programmation budgétaires, les modèles logistiques, les interventions d'urgence, les opérations de recherche et de sauvetage, la gestion des combats et le déclenchement de la surveillance et de la poursuite radar. Le CCARO s'intéresse également au domaine des réseaux neuronaux dans le cadre des problèmes de classification et d'optimisation. En ce qui a trait à la planification et à la programmation budgétaires, on a mis au point un prototype de système expert qui effectue certaines des modifications au programme militaire d'immobilisations en vigueur, en fonction de l'évolution des priorités, des contraintes budgétaires et de nombreux autres objectifs fermes ou souples. Ce système fait partie d'un système de modélisation des décisions utilisant une base de données intelligente. On a entrepris une étude portant sur l'utilisation d'un assistant expert qui conseillera l'usager sur le modèle logique à utiliser dans une situation donnée. On a également mis au point un prototype de système expert pour conseiller les responsables des interventions d'urgence sur les mesures à prendre en

cas de déversements de produits chimiques. Pour ce qui est des opérations de recherche et de sauvetage, on a entrepris le développement d'un système expert qui incorporera les connaissances et les décisions d'un chef des opérations de recherches.

On a également étudié l'utilisation des réseaux neuronaux pour la classification des signaux sonar et le choix d'une doctrine de tir. On envisage le recuit simulé comme méthode permettant de déterminer les parcours aériens optimaux pour divers aéronefs afin de survoler une multitude de sites.

À mesure que les techniques d'intelligence artificielle se répandent et se perfectionnent, il faut s'attendre à ce que davantage de technologies de l'intelligence artificielle soient appliquées à la recherche pour la défense, et ultérieurement, aux situations opérationnelles. Les centres de recherches continueront de suivre l'évolution de cette technologie, de l'appliquer s'il y a lieu et, au besoin, d'entreprendre des recherches afin de combler des lacunes spécifiques au chapitre de la défense.

V.K. Taylor
Direction générale, Recherche et développement
Communications et espace
Défense nationale
Quartier général de la Défense nationale
Ottawa (Ontario)
K1A 0K2

Énergie, Mines et Ressources Canada

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR) effectue des travaux de recherche et développement en intelligence artificielle dans plusieurs de ses secteurs d'activités. Dans les pages qui suivent, nous décrivons rapidement les travaux en intelligence artificielle du Centre canadien de télédétection (CCT), du Centre canadien de cartographie (CCC), du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) et de la Commission géologique du Canada (CGC).

Centre canadien de télédétection (CCT)

Travaux en IA au CCT

La technologie de la télédétection doit se mesurer à des problèmes de plus en plus complexes en fusion des données, qui ne peuvent être résolus que grâce à un savoir-faire et à de l'expérience très spécialisés. L'intelligence artificielle est une technologie essentielle à l'acquisition de ce savoir-faire au fur et à mesure de son évolution, ainsi qu'à l'automatisation des procédures nécessaires à la résolution de ces problèmes et à l'extraction des informations pertinentes. Par exemple, on peut utiliser des experts simples pour l'exécution des algorithmes actuels et transmettre les résultats à des experts «plus intelligents» d'un niveau plus évolué. Les experts du niveau plus évolué peuvent quant à eux servir à la formulation d'un plan d'analyse fondé sur les objectifs de l'utilisateur. Par exemple, un utilisateur qui veut exploiter des données de télédétection pour la mise à jour d'une carte d'inventaire, doit disposer de connaissances provenant de plusieurs disciplines afin de produire un produit final exact et précis. En télédétection, on dispose d'une grande variété de plates-formes aéroportées et spatiales, équipées d'une gamme très diverse de détecteurs. L'incorporation modulaire des composantes de connaissances nécessaires provenant de plusieurs disciplines peut être réalisée par un système de systèmes experts conseillers répartis, chacun couvrant son propre domaine d'expertise.

Depuis plus de 8 ans, le Centre canadien de télédétection effectue des recherches en intelligence artificielle, tandis que ses travaux en vision informatique en vue d'extraire de l'information à partir de données télédétectées ont débuté il y a plus de 18 ans. En 1983, une coquille fondée sur Prolog (RESHELL, coquille de télédétection) a été conçue spécialement pour l'interprétation et l'analyse des données télédétectées. La Figure 2 montre les

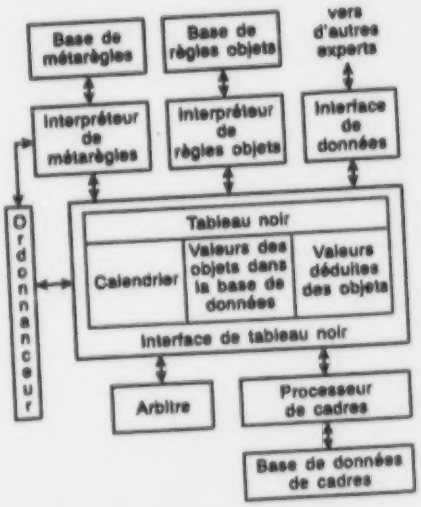


Figure 2. Architecture de RESHELL.

éléments de RESHELL. Avec RESHELL, il est possible de créer des systèmes experts pour l'exécution de procédés dans d'autres langages sur des ordinateurs répartis, tout en offrant une intégration continue des diverses fonctions. Cette caractéristique a amené la création du premier prototype d'un système expert hiérarchique, le conseiller analyste, qui peut aider les profanes à analyser correctement l'imagerie prise par le capteur thématique LANDSAT. Les travaux de recherche et développement ont été réalisés par une équipe de chercheurs du gouvernement, des universités et de l'industrie. Le CCT a aussi mis au point des systèmes experts autonomes destinés à des tâches spécifiques, comme la détection des nuages et la cartographie de la neige.

Environnement de traitement

Le CCT travaille présentement à la réalisation en Prolog de systèmes experts sur des MicroVAX. RESHELL est en cours de conversion en Unix. Ces systèmes experts gèrent les procédés et dispositifs sur des ordinateurs plus gros, de manière à réaliser l'intégration de données provenant de plusieurs sources. Les procédés d'analyse des images exigent plus de 1,5 million de lignes de programme en Fortran. Parmi les dispositifs en cause, on compte des périphériques informatiques courants comme des terminaux X-Window, des affichages graphiques, un serveur de traitement Sun 490, des systèmes d'informations géographiques et des disques optiques réinscriptibles. Le CCT utilise aussi des ordinateurs Macintosh comme plates-formes d'IA.

RESHELL

RESHELL (Figure 2) utilise des métarègles et des règles objets. Les métarègles constituent les critères de décision pour des groupes de règles (phases) dans le système expert, tandis que les règles objets, auxquelles est associée une certaine incertitude, servent à prouver ou à déduire les valeurs des objets par chaînage amont ou aval. Les actions des métarègles peuvent déterminer la phase suivante, ce qui réduit l'espace de recherche tout en testant les conditions des règles et permet d'ordonner les opérations des systèmes experts selon un ordre logique. Les règles objets produisent des données à titre de critères pour les décisions de métaniveau; elles sont donc appelées par les conditions et actions résultant des métarègles. La consultation entre les experts est réalisée au métaniveau, qui détermine la hiérarchie globale du système. Chaque expert comporte son propre tableau, dans lequel il peut coller des objets ou données qui seront utilisés par d'autres règles au métaniveau ou au niveau objet. Les données transmises entre les experts peuvent aussi passer par une base de données de cadres, qui mémorise les objets sous forme de cadres.

Une installation spécialisée a été mise au point dans le cadre de la coquille, pour l'exécution automatisée des programmes. Bien que le but premier de cette installation était l'exploitation de gros programmes d'analyse des images, il existe peu de logiciels ou de procédures qui ne peuvent être gérés par ce système. L'installation d'exécution automatisée de programmes est appelée interface de tâche LDIAS interactive (ILTI). ILTI est implantée à titre d'expert dans RESHELL, avec une fonctionnalité spécialisée. Chaque programme LDIAS qui doit être exécuté par le système expert doit comporter une ILTI détenant des connaissances sur son fonctionnement.

Compte tenu de la complexité de la combinaison de systèmes pour l'analyse d'images et les informations géographiques, nous croyons qu'un système expert fondé sur fenêtres pourrait simplifier l'interface utilisateur et réduire la formation nécessaire à l'utilisation efficace de ces systèmes. La coquille d'expert (RESHELL) du CCT comporte une interface DECwindows implantée au niveau de la coquille (en Prolog). Les fonctions spécifiques, comme l'établissement de la taille des fenêtres, la sélection des outils, les messages d'erreur et la traduction chaîne-à-Prolog, sont réalisées au niveau de Prolog. Un éditeur complet de règles et d'objets a été implanté dans le cadre de l'interface DECwindows. Le CCT implante présentement cette interface utilisateur dans ses systèmes experts réalisés au moyen de RESHELL et adapte l'ensemble de l'interface aux normes MOTIF. Ces travaux de développement comprennent l'adaptation de l'interface utilisateur au niveau d'expertise de l'utilisateur, les opérations couper–copier–coller, la construction dynamique de fenêtres d'invite multifonction dans un environnement d'invite non déterministe à traitement parallèle, l'enregistrement des fenêtres, et la possibilité d'ajouter facilement les futurs développements des systèmes experts.

L'interface utilisateur standard MOTIF facilitera la conversion de l'interface et de la coquille à d'autres systèmes d'exploitation (VMS, ULTRIX, POSIX, Unix et MacOS). Nous prévoyons produire éventuellement un système multistandard réparti sur une grande zone géographique et adapté aux gros ordinateurs et aux micro-ordinateurs. L'industrie participe à ces travaux de développement et nous prévoyons que RESHELL sera disponible dès le premier trimestre de 1991.

Conseiller analyste

Le premier système expert hiérarchique que nous avons mis au point s'appelait le Conseiller analyste. Ce système expert hiérarchique à base de connaissances guidait les opérations d'un utilisateur sur le système d'analyse d'images numériques LANDSAT (LDIAS) en analysant et exploitant des programmes nécessitant des connaissances réparties ainsi qu'un savoir-faire substantiel. Ce processus d'intégration est complexe et dépend étroitement des données. Des recommandations liées à l'exactitude et au traitement des données ont été formulées à chaque étape du processus. L'utilisateur prenait ses décisions à partir de cette information, par rapport à des objectifs pré-établis sur l'exactitude de classification et les exigences de mise à jour de la carte. Les connaissances nécessaires aux séquences de traitement et à la base de règles de décision ont été programmées en Prolog. Les connaissances de niveau évolué ou la commande par «métarègles» lançaient et dirigeaient des tâches Fortran pour la réalisation du traitement des images de niveau inférieur. Les tâches Fortran tournaient sur un certain nombre de noeuds VAX, dans un environnement en grappe de réseau local.

Système d'experts hiérarchiques pour l'inventaire des ressources (SHERI)

Le CCT travaille à la mise au point d'un second système expert hiérarchique, le système d'experts

hiérarchiques pour l'inventaire des ressources (SHERI). Le projet SHERI a été approuvé en octobre 1989 par suite d'un appel d'offres interne du gouvernement du Canada et supervisé par Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC). Le projet SHERI vise la mise au point d'un système intelligent pour la mise à jour de l'inventaire forestier en Colombie-Britannique (plus de 6000 cartes à 1:20 000 ou fichiers SIG) au moyen d'images du capteur thématique (ou SPOT). SHERI contiendra plus de 150 systèmes experts. Le projet sera terminé en mars 1990 et a reçu l'appui de deux ministères fédéraux, Énergie, Mines et Ressources Canada et ISTC, et du ministère des Forêts de la Colombie-Britannique. Le projet SHERI contribue aussi à la commercialisation de RESHELL, notre coquille de système expert.

Puisque le Canada est le deuxième pays en superficie au monde, il est normal qu'il recherche des technologies domestiques qui appuient les systèmes d'informations géographiques et les systèmes de gestion des ressources. Étant donné que les informations contenues dans les systèmes d'inventaire des ressources tombent rapidement en désuétude, il est essentiel d'avoir recours aux données de télédétection pour mettre à jour fréquemment ces systèmes. Dans le passé, les méthodes de cueillette des informations pour l'inventaire forestier passaient surtout par la photographie aérienne. En raison des frais de prise des clichés, de l'absence de produits numériques et de la variété des photo-interprétations, il n'a pas été possible de mettre à jour annuellement l'inventaire des ressources forestières. Toutefois, la télédétection s'est avérée un outil efficace et économique pour de telles mises à jour. Le recours à la télédétection exige du personnel extrêmement spécialisé en analyse numérique des données télédétectées et l'intégration de l'interprétation aux systèmes d'informations géographiques. La complexité des méthodes d'analyse et des systèmes d'informations peut être contournée grâce aux méthodes à bases de connaissances. On doit disposer pour ce faire de systèmes experts pour le traitement en vision artificielle d'images télédétectées et intégrer ces systèmes experts de vision aux systèmes actuels d'inventaire des ressources.

Le CCT effectue, dans le cadre du projet SHERI, des travaux de R-D sur un système expert hiérarchique pour l'intégration à des systèmes d'informations géographiques divers, de données de télédétection recueillies par de nombreux détecteurs et plates-formes, pour réaliser l'inventaire forestier et donner des conseils sur les stratégies de gestion forestière à long terme. Ce projet contribuera à la gestion et à l'exploitation d'une de nos plus importantes ressources renouvelables, les forêts. Parmi les réalisations concrètes de ces recherches, on comptera l'implantation d'un système d'inventaire des ressources forestières utilisant des systèmes experts, la commercialisation d'une coquille équipée de fonctions uniques, des publications et des activités de formation. Le système d'inventaire des ressources forestières accroîtra le recours aux données de télédétection, réduira les exigences en personnel détenteur d'un savoir-faire très spécialisé et assurera l'uniformité et l'exactitude de la base de données des ressources provinciales. Le système sera aussi un outil utile pour la formation des opérateurs actuels à l'analyse de l'imagerie télédétectée afin d'identifier les structures forestières intéressantes, comme par exemple les zones de coupe, les zones de croissance ou de régénération insuffisante, et les régions où les profils de coupe approuvés ne sont pas respectés. Les capacités actuelles du système sont la préparation des données, la correction géométrique, la correction en fonction du terrain, la classification des images, la segmentation, la détection des nuages, la conversion de trame à vecteur et de vecteur à trame, et les calques de cartes SIG avec les données télédétectées, le filtrage, et la vectorisation des produits finals. Plusieurs techniques de pointe en IA sont utilisées dans SHERI, y compris l'exécution automatisée des programmes, la propagation des incertitudes, et l'apprentissage machine.

Système expert à clés de photo-interprétation (PIKES)

La cartographie, la création d'inventaires des ressources et le contrôle environnemental passent par le recours à l'imagerie recueillie par aéronef ou par plate-forme spatiale. Le processus d'interprétation de cette imagerie par l'humain est appelé photo-interprétation. Les photo-interprètes sont présentement en nombre insuffisant. À l'heure actuelle, ces spécialistes utilisent des clés visuelles tirées d'un petit jeu d'exemples visuels représentant des caractéristiques visuelles identifiables sur les photos aériennes pour identifier et marquer ces caractéristiques. Toutefois, ces clés sont d'envergure limitée, sont fréquemment de conception déficiente et ne sont pas mises à jour assez fréquemment pour profiter des progrès de la technologie des détecteurs. D'autre part, on constate des variations entre les interprétations réalisées par des photo-interprètes moins expérimentés, ce qui

révèle les défauts des guides photographiques ou «clés». Le recours à des images numériques télédétectées pourrait donc permettre d'améliorer substantiellement la photo-interprétation, en guidant l'interprète pour la création de clés plus robustes et de plus grande envergure.

Ce projet permettra de mettre au point un système expert pour la formation des photo-interprètes à l'aide de clés visuelles en ligne. De plus, le fonds de R-D en IA de Industrie, Sciences et Technologie Canada a récemment accepté de financer ce projet.

Le recours à un système expert pour la réalisation des clés d'interprétation des images et pour la formation des photo-interprètes à partir de ces clés, offre des possibilités uniques par rapport aux autres outils informatiques; les connaissances des experts peuvent facilement être mises à jour sans reprogrammation; la formation peut suivre en grande partie le rythme individuel de l'étudiant et ne nécessiter que le minimum de supervision; la formation commune permettra d'obtenir un niveau plus élevé d'exactitude et d'uniformité entre les interprètes. Ce système expert recueillera les connaissances des photo-interprètes sur les décisions prises quant à la sélection des clés et au processus d'interprétation. Le système expert devra prendre certaines décisions selon un processus semblable à celui adopté par les experts humains, et ce depuis la séparation initiale de la classification d'utilisation des terres jusqu'à l'identification des espèces et de l'âge de la couverture végétale et de la forêt. Pendant la sélection des clés, des portions d'images peuvent être enregistrées et mémorisées selon un index de base de données, qui sera appelé lors des futures procédures de photo-interprétation lorsqu'une classe particulière sera suggérée à l'utilisateur. Les clés seront utilisées lors de la photo-interprétation d'images numériques prises par satellite ou par aéronef. Ce projet aura comme retombées un plus grand recours à l'imagerie de télédétection numérique, la réductiondes coûts de formation des photo-interprètes, la possibilité du recours à la formation répartie, l'amélioration de l'exactitude de la photo-interprétation (avec des retombées en cartographie et en surveillance), et la vente à l'étranger de systèmes peu coûteux à des pays sans expérience en photo-interprétation.

Système de surveillance de l'environnement (EMSys)

Les progrès de la science de la télédétection ont permis d'apporter des perfectionnements importants aux appareils utilisés dans le domaine et de mieux comprendre son utilisation potentielle pour la surveillance de la Terre sur de grandes zones et à long terme. Plusieurs études internationales regroupant divers organismes sont présentement en cours en vue de la surveillance à long terme au moyen d'outils de télédétection perfectionnés conçus spécialement pour la surveillance mondiale, y compris le spectromètre imageur aéroporté et des détecteurs radar. Le Centre canadien de télédétection participe à plusieurs études sur la surveillance globale.

Bien que les activités en surveillance globale se poursuivront pendant de nombreuses années, la science nécessaire à la surveillance est en cours de développement et il est nécessaire de mettre au point un outil intelligent pour l'intégration des connaissances scientifiques provenant de plusieurs domaines. Le problème est similaire à la création d'une base de données géographiques nationale par le recours à des agents intelligents, de manière à permettre le partage des données et le partage des processeurs pour l'analyse et la prise de décisions. L'utilisation de systèmes experts pour l'intégration et l'analyse des données dans le contexte d'études de surveillance permettront de traiter les problèmes de surveillance à l'échelle continentale tandis que l'intelligence des outils garantira leur adaptabilité.

Le CCT a proposé le lancement de travaux de recherche et développement sur un système expert hiérarchique (EMSys) pour la surveillance et l'analyse des changements dans le biome de la forêt boréale et les zones des terres arctiques. Pour mieux comprendre les interactions entre les forêts boréales et l'atmosphère ainsi que les réactions de la forêt boréale au réchauffement climatique, la NASA et le CCT réaliseront une étude de cinq ans, l'Expérience sur la forêt boréale, à deux emplacements dans les régions boréales du Canada, qui comptent parmi les régions les plus sensibles au réchauffement climatique dans le monde. De plus, le CCT et le ministère des Forêts de la Colombie-Britannique mènent présentement un projet conjoint de recherche dans les régions montagneuses sensibles aux changements environnementaux. Les données recueillies devront être intégrées à l'information géographique canadienne actuelle, aux modèles numériques du terrain, aux modèles de croissance des forêts, aux résultats des modèles climatiques, aux modèles de correction atmosphérique, et aux modèles de surveillance environnementale. Ces expériences seront des sources

importantes de connaissances destinées aux systèmes experts qui formeront EMSys. Les connaissances des experts de EMR, du gouvernement de la Colombie-Britannique (Forêts, Terres de la Couronne et Environnement), d'Environnement Canada, et de Forêts Canada serviront aussi à enrichir EMSys. Les résultats des recherches comprendront la mise au point du premier prototype d'un système de surveillance environnementale à l'échelle continentale à partir de la technologie de l'IA, les tests du système au moyen d'un jeu de données complexe résultant de nouvelles méthodes de mesure par télédétection, comme par exemple les spectromètres imageurs et les radars à polarisation, l'implantation d'un système capable d'intégrer des informations géographiques provenant des gouvernements fédéral, provinciaux et étrangers, une méthodologie pour évaluer la valeur de l'information provenant de plusieurs sources de données, la capacité d'utiliser des systèmes experts répartis parallèles, la commercialisation du prototype comportant des fonctions uniques, des publications et des activités de formation.

Les objectifs de la surveillance à grande échelle sont très bien définis : toutefois, le savoir-faire nécessaire est très dispersé et les fonctions d'analyse nécessaires sont très complexes et, dans certains cas, ne sont pas tout à fait au point. Les activités de surveillance en cours dans ce domaine sont présentement réparties entre des groupes indépendants très spécialisés. Ce projet vise l'intégration de l'expérience et des connaissances de ces experts grâce à l'intégration de ce savoir-faire dans un système d'intelligence artificielle pour la prise de décision et les prévisions.

Système d'experts pour la gestion intelligente des données (SEIDAM)

SEIDAM est une proposition de projet de recherches sur un système de systèmes experts pour la gestion intelligente des données. Le CCT détient une longue expérience en développement de systèmes pour l'intégration d'informations géographiques avec des données de télédétection spatiale et aérienne et en gestion de gros fichiers de données télédétectées. Au plus bas niveau, les systèmes experts géreront et intégreront des données provenant de diverses sources, en tenant compte des différences de représentation symbolique et des variations de l'exactitude. Le logiciel actuel peut être commandé par ces systèmes experts, sans conversion du logiciel actuel en langage d'IA. Au deuxième niveau, SEIDAM prendra les données interprétées (symboliques et numériques) et les combinera aux modèles de données actuels. Au niveau supérieur, SEIDAM s'adaptera aux objectifs de l'utilisateur pour la prévision de résultats à partir des données actuelles. Le projet SEIDAM touchera aux secteurs de recherche sur les systèmes experts, sur la gestion des données, sur la mémorisation et la lecture, ainsi que sur l'accès et l'interface utilisateur.

Participation du secteur privé et des universités

Comme tous les autres projets du CCT, les projets en IA du CCT sont réalisés en collaboration étroite avec l'industrie et les groupes de recherche de diverses universités. Par exemple, le projet SHERI a donné lieu à des contrats avec Intera-Kenting Technologies, Price Waterhouse, l'Université d'Ottawa, Ferihill Technologies Ltd. de Victoria, et l'Université de Toronto.

Personne-ressource

Pour de plus amples renseignements sur les activités du CCT en IA, s'adresser à :

Dr David G. Goodenough
Centre canadien de télédétection
Énergie, Mines et Ressources Canada
1547, chemin Merivale
Ottawa (Ontario)
K1A 0Y7
Téléphone : (613) 952-2760

Centre canadien de cartographie (CCC)

Généralisation fondée sur règles pour les transformations de contexte

Généralités

En cartographie thématique, la réduction d'échelle est une étape importante de la production des cartes géographiques. Le processus de production passe généralement par le transfert, sur des cartes à petite échelle, d'informations détaillées provenant de cartes à grande échelle. Tout comme la généralisation manuelle, la généralisation automatique nécessite les activités suivantes : simplification, déplacement, exagération, combinaison, sélection, classification et symbolisation. Bien que ces activités s'appliquent tout autant aux éléments graphiques qu'au contenu thématique des cartes, leurs contributions respectives ne sont pas égales. Par exemple, la simplification, le déplacement et l'exagération sont des outils axés sur la manipulation de la représentation graphique des objets spatiaux et leur intervention est fortement motivée, mais pas exclusivement, pas des critères de lisibilité. Par contre, la sélection et la classification influent surtout sur le contenu thématique des

cartes et leur intervention est déterminée par le type d'informations à afficher. Le premier groupe d'activités porte surtout sur la forme, le second sur le contenu. Ces classes d'activités sont toutefois fortement interreliées, puisque la sélection et la classification amènent nécessairement à des modifications de la représentation graphique et que la nécessité d'une transcription graphique peut, quant à elle, susciter d'autres activités de sélection et de classification.

Les travaux antérieurs sur la généralisation automatisée ont porté surtout sur la manipulation graphique de la représentation des objets. Ces manipulations résultaient de la nécessité de préserver la lisibilité de la carte malgré la réduction de l'échelle. Les critères correspondants d'évaluation de la performance des méthodes de généralisation cartographique étaient exclusivement géométriques.

Objectifs des recherches

Les objectifs de la constitution de la base de règles sont la formulation d'une approche plus complète de généralisation dans l'environnement numérique et le traitement des relations contextuelles entre les objets. Les règles fournissent des lignes directrices précisant le moment de la généralisation, l'objet à généraliser et les motifs de la décision. Le processus automatisé de généralisation contextuelle passe par l'application de «facteurs de nécessité» en conjonction avec une base de données SIG pour la cartographie thématique. Le processus comprend une série de règles qui correspondent aux critères d'information des cartes de base en vue de leur représentation à diverses échelles et qui préservent la relation entre les éléments de la carte de base et divers sujets thématiques. La base de règles comprendra un sous-ensemble de règles fondées sur l'information d'attributs d'objets qui peut servir de critères pour la généralisation. Le système comprendra un sous-ensemble de règles pour garantir le maintien de l'intégrité des relations spatiales même en cas de changement d'échelle.

Environnement système

L'environnement de traitement de base est formé d'une station de travail Sun, de Unix et de l'Atlas électronique. La base de données géographiques sera réalisée au moyen de ARC/INFO Oracle. La base de règles est en cours de tests au moyen de Brainmaker ou de Smalltalk, les résultats seront implantés dans le progiciel de cartographie Atlas électronique par le Centre canadien de cartographie.

Personne-ressource

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

D.E. Richardson
Section de technologie
Division de cartographie topographique
Centre canadien de cartographie
Énergie, Mines et Ressources
615, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E9
Téléphone : (613) 992-4683

Conseiller intelligent en cartographie

Généralités

Les cartographes s'intéressent de plus en plus à la cartographie statistique aux fins de cartographie thématique, en raison de la possibilité du recours aux données pour cartographie synthétique. La méthode de cartographie synthétique utilisée le plus fréquemment est la classification qui, par exemple, classe une population en plusieurs groupes, de manière que les phénomènes répartis spatialement puissent être représentés sur les cartes sous forme de séries d'intervalles de classes. Toutefois, il existe aussi d'autres techniques plus perfectionnées d'analyse statistique utilisables en cartographie thématique, comme par exemple le regroupement et l'analyse par discrimination, mais qui ont été utilisées très irrégulièrement. Toutefois, depuis l'apparition du SIG, la cartographie synthétique multivariable est possible et même nécessaire. Par conséquent, le Centre canadien de cartographie étudie présentement l'application de techniques perfectionnées d'analyse statistique.

Un prototype de système expert, le conseiller en cartographie statistique (CCS), est en cours de développement; il servira d'expert en cartographie statistique et conseillera les utilisateurs sur l'utilisation des techniques de cartographie par analyse statistique. L'utilisation du CCS ne nécessite aucune connaissance préalable en analyse statistique. Les utilisateurs qui consultent ce système recevront des conseils sur la signification des méthodes d'analyse statistique associées, sur le type de cartes et de données pour lesquelles on peut les utiliser, sur les méthodes à adopter en vue d'applications spécifiques, sur la manière d'utiliser ces méthodes et sur le mode d'affichage.

Environnement système

L'environnement de traitement de base est formé d'une station de travail Sun, de Unix et de MS-DOS.

Le CCS est conçu pour les applications liées au Service d'information de l'Atlas national et est en cours d'implantation sur une station de travail Sun. La composante d'analyse statistique fait l'objet de tests au moyen de graphiques STAT compatibles avec le poste de travail Sun et pouvant tourner sous MS-DOS.

Personne-ressource

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Dr E.M. Siekierska
Génie et développement des systèmes
Division des services de géographie
Centre canadien de cartographie
Énergie, Mines et Ressources Canada
615, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E9
Téléphone : (613) 992-4470

Étude du positionnement automatique des noms pour la production de cartes topographiques

Généralités

Le problème du positionnement automatique des noms en cartographie topographique reste épineux, en raison du facteur esthétique inhérent au positionnement des noms. Il existe un jeu de règles fondamentales pour le positionnement des noms (par exemple : les noms ne doivent pas se chevaucher, ils doivent être si possible placés à l'horizontale et ils ne doivent pas chevaucher ou cacher d'autres éléments sur la carte), mais le positionnement final est aussi guidé par le facteur du coup d'oeil du point de vue cartographique. Plusieurs solutions ont été formulées pour le positionnement automatique des noms. Elles règlent toutes une partie du problème de positionnement automatique des noms (normalement subdivisé en sous-problèmes de positionnement selon les caractéristiques de points, de lignes et de surface), mais aucune n'a dépassé le stade du prototype de recherche. On doit souligner tout particulièrement (i) l'impossibilité pour la plupart des logiciels de tenir compte de la structure et de l'exhaustivité des bases de données actuelles de cartes et de noms, (ii) l'absence d'informations provenant de cartographes d'expérience permettant d'établir un jeu de règles plus complet sur le positionnement des noms, et (iii) l'absence de l'option d'implantation d'une approche assistée par ordinateur en cas d'échec de l'approche entièrement automatisée.

Objectifs des recherches

Ces travaux de recherches visent les objectifs décrits dans les paragraphes suivants.

- Revue de la littérature sur le positionnement automatique des noms et comparaison des résultats obtenus par méthode automatique à ceux du positionnement manuel des noms sur les cartes topographiques du Canada.
- Élaboration d'une base de règles pour le positionnement des noms sur les cartes topographiques du Canada à partir d'entrevues réalisées avec des cartographes d'expérience.
- Formulation d'algorithmes de positionnement automatique des noms, en conformité de la structure de données de la base nationale de données de noms géographiques (BNDNG) et de la base nationale de données topographiques (BNDT).
- Implantation et tests de ces trois algorithmes au moyen d'échantillons de données numériques extraits de la BNDT, ainsi que des noms extraits de la BNDNG dans la même région.
- Aperçu des étapes nécessaires à l'implantation du positionnement automatisé ou assisté par ordinateur pour la production de cartes topographiques au Centre canadien de topographie.

Personnes ressources

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

M. D. Brassard (Chercheur (Programme d'ententes de recherches d'EMR))
Section de technologie
Division de cartographie topographique
Centre canadien de cartographie
Énergie, Mines et Ressources Canada
615, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E9

Dr Bradford Nickerson
Professeur adjoint
Faculté d'informatique
Université du Nouveau-Brunswick
C.P. 4400
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5W9

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)

À titre de centre technologique attitré du gouvernement fédéral, le Centre canadien de la technologie

des minéraux et de l'énergie (CANMET) effectue des recherches et développe de la technologie pour le compte des industries canadiennes de la minéralogie, de la métallurgie et de l'énergie. CANMET compte parmi ses objectifs : aider ces industries à devenir plus concurrentielles; améliorer la santé, la sécurité et la protection de l'environnement dans l'industrie; diversifier et améliorer l'utilisation efficace des minéraux et des ressources énergétiques et appuyer les politiques du gouvernement.

La mission de CANMET consiste à aider les industries de la minéralogie, de la métallurgie et de l'énergie; la Centre ne fait donc pas de recherches sur l'intelligence artificielle en tant que science, mais intègre l'intelligence artificielle à ses travaux lorsque l'occasion se présente.

Traditionnellement, l'industrie des minéraux a eu recours aux mises à pied pour améliorer sa position concurrentielle. La plupart des entreprises envisagent présentement d'autres mesures d'économie, comme l'automatisation et la gestion des procédés. Les clients de CANMET ont de plus en plus recours aux détecteurs, aux indicateurs, aux jauges et aux ordinateurs pour mesurer, enregistrer et analyser immédiatement l'état des procédés. Les systèmes experts seront essentiels à l'automatisation de l'exploitation des usines de traitement des minéraux. CANMET a acquis un savoir-faire dans l'utilisation des systèmes experts pour la conception et l'exploitation d'usines de traitement du minerai et appliquera cette expérience au traitement énergétique.

Les travaux de CANMET en intelligence artificielle ont surtout porté sur le développement d'une base de connaissances, de modèles mathématiques et des méthodes de simulation informatique nécessaires à la constitution d'un système expert. CANMET a participé à la mise au point de plusieurs prototypes de systèmes experts et travaille présentement à la mise au point d'un certain nombre d'autres systèmes, décrits plus bas. Les systèmes en cours de développement seront adaptés spécifiquement aux installations de recherche existantes et CANMET collaborera avec ses entreprises clientes afin de modifier les systèmes en vue d'applications commerciales particulières.

Laboratoire des sciences minérales

Introduction

Entre 1987 et 1989, CANMET a réalisé trois projets de prototypes de systèmes experts pour le traitement des minéraux. Ces projets ont permis de tirer des conclusions sur les avantages et les inconvénients actuels des systèmes experts, conclusions qui sont tirées du document «Latest Developments in Computer Aided Mineral Processing Techniques at CANMET» présenté lors du colloque APCOMIN 90 (Application of Computers in the Mining Industry), qui s'est tenu à Santiago, au Chili, du 14 au 17 mai 1990, rapport MSL 90-41, CANMET (OP&J).

Les systèmes experts sont accessibles au milieu de la recherche appliquée depuis le milieu des années 1980. On les a souvent présentés comme une technologie révolutionnaire. Cinq ans plus tard, et après le développement de nombreux prototypes, il est juste de dire que l'étoile des systèmes experts a quelque peu perdu de son éclat initial. Au moins quatre facteurs ont contribué à cette perte de vitesse apparente des systèmes experts :

1. L'absorption rapide des nouvelles technologies dans le courant principal de la science et du génie serait en partie responsable de la visibilité décroissante de la technologie des systèmes experts, qui est appartient maintenant au domaine théorique;

2. L'évolution accélérée des technologies informatiques contribue à l'obsolescence rapide des nouveautés d'hier (ex. les machines LISP);

3. Il se peut que les attentes démesurées à l'égard des systèmes experts, en conjonction avec une sous-estimation de certaines des difficultés de leur développement et de leur intégration aux logiciels existants, particulièrement en ligne, aient découragé certains des premiers convertis à appliquer les systèmes experts à leurs opérations;

4. L'emploi généralement abusif de la terminologie a dilué le concept original et a contribué à certaines désillusions, de même qu'à une baisse de popularité du terme «système expert».

La figure 3 illustre les rôles possibles d'un système expert dans un environnement de traitement métallurgique : diagnostic (mise au point), pronostic (conseiller), et intervention directe dans la commande des procédés. Au cours des quelques dernières années, CANMET a fait l'essai de prototypes de systèmes experts dans ces trois champs d'application, dont on trouvera ci-après un résumé (Laguitton, 1989b).

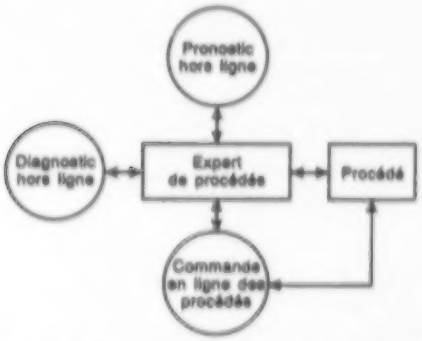


Figure 3. Configurations en ligne et hors ligne d'un système expert de commande de processus.

Systèmes experts hors ligne

Le premier système expert hors ligne financé par CANMET était un système de diagnostic. Le système expert de broyage du clinker développé en collaboration avec les Ciments Lafarge (Flament, 1987; Flament, 1988) simulait le raisonnement d'un spécialiste ayant pour principale responsabilité de résoudre les défaillances sur le plan de la qualité et de la productivité des circuits de broyage du clinker. Ce système fonctionnait dans l'environnement KEE/Explorer. Un deuxième prototype de système expert a été mis au point durant la même période par une équipe de Lavalin et de la Canadian Electrolytic Zinc (CEZ), pour aider les opérateurs chargés de la conduite d'une installation de lessivage et de raffinage du zinc (Laguitton, 1989c). Ce système visait donc le pronostic des procédés; la principale différence par rapport au projet susmentionné était l'utilisation de matériel informatique traditionnel. L'intégration de ce système à une architecture informatique traditionnelle constituait une condition essentielle; on a donc choisi la coquille TI Personal Consultant, exploitée sur un ordinateur COMPAQ-386, afin d'assurer la vitesse nécessaire pour la production d'inférences à partir d'une base de connaissances de 250 règles.

Systèmes experts en ligne

On trouve, à l'heure actuelle, très peu de systèmes experts en ligne dans l'industrie métallurgique. CANMET a réalisé, conjointement avec Kidd Creek Mines, une application de système expert pour la commande automatisée des procédés (Burrows, 1989). Il s'agit d'un système expert de validation et de substitution des données, intégré à l'interface d'un analyseur aux rayons X et d'un ordinateur existant de commande automatique des procédés et d'information sur la conduite de l'usine. Le système détecte les défaillances ou les indices de défaillance du système automatique d'échantillonnage et d'analyse en consultant une base de connaissances dans la coquille Nexpert RUNTIME fournie par Neuron Data. Les substitutions de données d'essai sont effectuées par divers algorithmes, à partir de données historiques fiables et de méthodes numériques. Les données de procédés validées sont ensuite transmises au système de commande automatique des procédés et (ou) aux affichages d'information sur la conduite de l'installation. On a testé le système sur un ordinateur MicroVAX, et les valeurs «substituées» ont été affichées sur les postes de travail des opérateurs pendant plusieurs mois. Cependant, on a bientôt découvert qu'un grand nombre des essais «suspects» étaient en fait attribuables aux fluctuations du traitement plutôt qu'aux erreurs d'échantillonnage et (ou) d'analyse. CANMET poursuit actuellement des recherches afin de tenir compte de ce fait et d'assurer que les fluctuations seront traitées dans des algorithmes de simulation dynamiques qui amélioreront la technique de substitution pour les essais vraiment non valides.

Conclusions

Voici les principales conclusions tirées par CANMET, après trois années d'élaboration de prototypes de systèmes experts :

1. On a souvent besoin de systèmes experts qui puissent fonctionner en conjonction avec du matériel et des logiciels existants; l'intégration est donc de la plus haute importance et doit être prise en compte durant la phase de planification;

2. On a d'abord présenté les systèmes experts comme des systèmes conçus pour traiter des données «heuristiques», souvent avec des variables symboliques (soit des mots), plutôt que des variables numériques. Cependant, l'intégration à d'autres logiciels nécessite souvent qu'on convertisse les variables symboliques en variables numériques, ce qui exige une expertise supplémentaire qui n'est pas toujours disponible et, dans une certaine mesure, annule le concept original de connaissance «symbolique». En outre, peu de coquilles de systèmes experts ont la capacité de calculer des facteurs de certitude durant l'inférence basée sur des règles. Ce qui mène à une variante d'un vieil adage : «une formule vaut mille règles» (auteur inconnu).

3. Le développement des systèmes experts présente des avantages évidents, en ce qu'il oblige les concepteurs à réaliser un inventaire complet

de leurs connaissances et à établir des priorités parmi les différents problèmes potentiellement solubles à l'aide des systèmes experts.

4. Les systèmes experts mis en oeuvre dans les années 1980 semblent n'avoir été que la première génération des outils de conception logicielle des années 1990. Presque toutes les applications logicielles offrent, et offriront, des caractéristiques des algorithmes numériques et des inférences symboliques à base de règles, et il deviendra de plus en plus difficile d'utiliser le terme «système expert» dans son acception initiale pour décrire de tels systèmes.

5. Il reste encore beaucoup de progrès à faire au chapitre du développement et de l'enseignement des techniques de cognitique efficaces. Cette observation est peut-être une autre façon d'insister sur le rare mélange de rationalisme et de communication interpersonnelle qui devrait résulter d'une formation scientifique de qualité.

Références bibliographiques

Burrows, M.J., Carriere, J.D., Leung, J., Laguitton, D. (1989). An Expert System Designed to Improve Reliability of Assay Information in a Flotation Plant, 21e Conférence annuelle des minéralogistes du Canada, Ottawa (Ontario), janvier 1989.

Flament, F., Vanderstichelen, J., Laguitton, D., Hodouin, D. (1987). Prototyping of an Expert System for Trouble Shooting of Clinker Grinding Mills, présenté au Seminar on Artificial Intelligence in Minerals and Materials Technology, The University of Alabama, Tuscaloosa, octobre 1987.

Flament, F., Vanderstichelen, J., Laguitton, D., Hodouin, D. (1988). Tool Assessment of Expert System Prototyping: the KEE Expert System Shell, *Compte rendu de la première Conférence canadienne sur les applications informatiques dans l'industrie métallurgique*, Université Laval, Québec, Canada, mars 1988.

Laguitton, D. et Leung, J. (1989b). Advances in Expert System Applications in Mineral Processing, 28th Annual CIM Conference of Metallurgist, Halifax (Nouvelle-Écosse), du 20 au 24 août 1989.

Laguitton, D., Bilodeau, M., Ghibu, C., Boulanger, J.P., Farner, I., Dupuis, D. (1989c). Expert System Adviser for Operators of a Zinc Leaching Plant, *Proceedings of the 6th Symposium on Automation in Mining Mineral and Metal Processing*, publications IFAC Pergamon, Oxford, Buenos Aires, septembre 1989.

Personnes ressources

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Daniel Laguitton / Jean Leung
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)
Énergie, Mines et Ressources Canada
552, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0G1
Téléphone : (613) 996-7953/992-633
Télécopieur : (613) 954-1563

Laboratoires de recherche minière (LRM)

Les Laboratoires de recherche minière (LRM) travaillent à la mise au point de systèmes destinés aux ingénieurs spécialisés en conception de systèmes de soutien au sol et en évaluation de la gestion au sol. Le système à base de connaissances combinera divers modules de planification d'opérations minières et modèles mathématiques d'analyse des efforts dans les roches, de manière à réaliser un progiciel intégré pour l'analyse exhaustive de la conception et de la sécurité des mines.

Laboratoires de la technologie des métaux (LTM)

Les Laboratoires de la technologie des métaux (LTM) travaillent sur des systèmes experts dans trois secteurs technologiques :

- Un système en cours de mise au point vise la prédiction de la durée de vie résiduelle due à la fatigue dans les structures soudées. Ce système constituera la technologie nécessaire à la prédiction de l'accroissement de la probabilité de défaillance ou à l'extrapolation de la durée de vie résiduelle d'une structure ayant subi du fissurage de fatigue.

- Le système expert de technologie des fonderies guidera un concepteur/acheteur en fonderie de manière qu'il choisisse les meilleurs alliages et procédés de fabrication pour une application particulière. Les LTM ont déjà mis au point le réseau détecteur et le système expert pour la gestion des coûts d'exploitation d'un four à résistance électrique. Parmi les autres systèmes en cours de mise au point, on compte la liaison entre la conception de la préparation du moule et les méthodes d'usinage par commande numéri-

que; la conception de l'attaque, du chanfrein et de la masselotte de la cavité du moule et la production des configurations; le contrôle de la qualité du sable de fonderie; et un système expert pour la disposition ou le recyclage du sable en toute sécurité.

- Le troisième secteur d'activité des LTM porte sur la commande du laminage à chaud de bandes de métaux. Le premier système recueillera les données provenant de recherches sur le laminage, choisies de manière à produire un alliage laminé possédant les propriétés appropriées. Le système pourrait éventuellement être étendu à la commande des laminoirs commerciaux.

Laboratoires de recherche sur le charbon (LRC)

Les Laboratoires de recherche sur le charbon (LRC) développent le prototype d'un système expert pour la commande des procédés de la section de récupération des fines d'une usine de transformation du charbon. Au départ, le système gérera une usine de taille pilote installée aux LRC. Il pourra éventuellement être étendu à l'échelle commerciale après sa validation.

Laboratoires de recherche sur l'énergie (LRE)

Les Laboratoires de recherche sur l'énergie (LRE) développent un logiciel qui corrélera les propriétés chimiques et physiques du charbon à son comportement dans un certain nombre de procédés de gazéification. Le programme vise la création d'un système expert pour l'évaluation de l'adéquation d'un type de charbon défini au processus de gazéification uniquement d'après les propriétés physiques et chimiques, sans la réalisation de tests de gazéification.

Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement

La Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement travaille à la mise au point de trois systèmes experts :

- Le système expert de systèmes de diagnostic et de formation sur les systèmes de gestion de l'énergie des immeubles aidera à l'amélioration du rendement des systèmes de chauffage, de ventilation et climatisation des immeubles par la production de techniques pour la formation des exploitants d'immeubles et d'outils de diagnostic pour aider à l'identification des problèmes.
- Le système expert de conception de gros immeubles à efficacité énergétique devrait permettre aux concepteurs professionnels de comprendre et d'évaluer la gamme des options disponibles afin de prendre les meilleures décisions de conception en matière d'énergie.
- Le système expert de simulation énergétique améliorée pour les immeubles de faible hauteur fournira des règles, des procédures et des conseils sur les questions ou problèmes clés qui doivent être traités à l'étape de la conception afin d'éviter l'apparition de problèmes après la construction. Ces problèmes sont liés à la performance énergétique ainsi qu'à la qualité de l'air dans les immeubles et à la sécurité dans l'immeuble. Le système sera fondé sur le programme d'analyse énergétique HOT2000, mis au point par EMR.

Commission géologique du Canada (CGC)

Introduction

À l'heure actuelle, les activités de la Commission géologique du Canada (CGC) en intelligence artificielle (IA) découlent de l'intérêt de quelques chercheurs géoscientifiques qui croient que les techniques de l'IA peuvent contribuer à la réalisation des objectifs de leurs projets personnels. Jusqu'à présent, la direction de la Commission n'a défini ni attribué aucun objectif ou budget spécifique à des projets en IA. Par conséquent, les dépenses annuelles en IA de la Commission géologique sont de l'ordre de 10 k$ (à l'exclusion des salaires) et moins d'une dizaine d'agents de projets travaillent dans ce secteur.

Résumé des activités

Les activités de la Commission géologique en IA se limitent en gros à la production de systèmes experts à règles. Un des projets vise l'étude, avant la fin de l'année, d'une application des réseaux neuronaux. Dans les paragraphes ci-dessous, nous décrivons brièvement les activités des diverses divisions de la Commission. Ces renseignements sont résumés dans le tableau 5.

Le groupe le plus actif dans l'application de l'IA est celui de la Division des ressources minérales à Ottawa, dont quatre projets comportent des composantes en IA. Trois de ces projets sont étroitement associés à l'établissement de liens entre les méthodologies des systèmes experts et les systèmes d'informations géographiques (SIG) pour la réalisation de tâches d'évaluation des ressources minérales. Ces travaux sont effectués au moyen de

Tableau 3. Les activités en IA à la Commission géologique.

Division	Personne-ressource	Projet
Centre géoscientifique de l'Atlantique	B. Loncarevic	Un manuel technique fondé sur l'hypertexte a été préparé au moyen de VP-Expert 2.0; il donne des conseils sur l'utilisation du matériel océanographique à bord des navires.
Division de la cordillère	G. Woodsworth	Il travaille à titre d'expert du domaine avec David Lefebure (B.C. Geological Survey Division) et Alan Campbell (consultant, financement par le BC-GSD) sur un système expert qui aidera à l'évaluation des ressources minérales dans le nord de la chaîne de montagnes Coast en Colombie-Britannique.
Division de géophysique	R. Coles	Étude de la méthodologie des systèmes experts pour la collecte de connaissances et de procédures sur les prévisions d'orages géomagnétiques afin d'améliorer la qualité et l'opportunité de ces prévisions.
Division de la lithosphère et du Bouclier canadien	M. Schau	Plusieurs expériences ont été réalisées au moyen de logiciels gratuits distribués dans la communauté de l'IA et destinés à la classification des roches métamorphiques et à la résolution des conflits entre des classifications contradictoires.
Division des ressources minérales	F.P. Agterberg	En collaboration avec G.F. Bonham-Carter, travaux sur l'application de la méthodologie de la pondération de preuve à l'évaluation des ressources minérales au moyen d'un SIG. De plus, organisation de la séance «Modélisation en intelligence artificielle pour l'évaluation des ressources minérales» du Symposium de l'IAGOD à Ottawa, en août 1990.
Division des ressources minérales	G. Bonham-Carter	En plus des travaux décrits ci-dessus, des outils d'apprentissage machine, par exemple KnowledgeSeeker, sont utilisés pour la production de règles de reconnaissance des zones à fort potentiel minéralogique, directement à partir d'une base de données SIG. De plus, des études sont en cours sur des règles de chaînage avec liées à la classification et à la localisation des dépôts de minerai, utilisées dans des systèmes experts comme Prospector, directement dans une base de données SIG de manière à évaluer le potentiel minéralogique.
Division des ressources minérales	C.F. Chung	Le docteur Chung étudie le rôle de la représentation des connaissances dans la formulation des règles et l'impact du choix de la probabilité ou de certaines formulations, par exemple Bayes par rapport à Dempster-Shafer, sur le résultat d'inférence en rapport avec les tâches d'évaluation des ressources minérales au moyen de bases de données SIG. Ces travaux seront décrits lors du «Symposium international sur l'exploration minérale: utilisation de l'intelligence artificielle», qui aura lieu à Tsukuba au Japon, en octobre 1990.
Divisions des ressources minérales	R.G. Garrett	Mise au point d'un système expert, ©GXpert:Au, au moyen de KnowledgePro, en collaboration avec un membre du personnel maintenant à la retraite, le docteur R.W. Boyle, un expert mondial en exploration géochimique des dépôts aurifères. Ce système expert sera distribué sous forme de publication de la CGC. De plus, étude de l'application des réseaux neuronaux à la classification des données géochimiques, de manière à identifier les zones à fort potentiel minéralogique. De plus, organisateur de la séance «Gestion intelligente des données: systèmes à base de connaissances» du symposium GEOINFO IV à Ottawa, en juin 1990.

micro-ordinateurs et sont fondés sur le tableau de «conditions uniques» du SIG SPANS (TYDAC Technologies Inc.) pour l'affichage des «données» d'entrée en relation avec la «base de connaissances». À l'heure actuelle, la «base de connaissances» est produite à l'interne, à partir de la distribution des gisements de minéraux connus dans les régions étudiées. On utilise diverses procédures ad hoc et structurées pour réaliser la tâche. On utilise dans ce contexte le logiciel d'apprentissage machine KnowledgeSeeker, mis au point à Ottawa. On a entrepris récemment des

études au moyen de modèles à chaînage aval, en conjonction avec des règles de production déterminées à l'externe pour la classification et la localisation des dépôts de minerai, comme ceux utilisés par le système expert Prospector du Geological Survey des États-Unis.

Le quatrième projet porte sur la mise au point d'un système expert, ©GXpert:Au, qui servira de conseiller de planification des relevés géochimiques. Ce système expert utilise la coquille KnowledgePro et s'appuie sur plus de 40 années d'expérience, de publications et de données non publiées détenues par un chercheur de la CGC qui a récemment pris sa retraite, le Dr R.W. Boyle. Le projet vise à fournir aux utilisateurs des suites recommandées d'éléments marqueurs géochimiques pour les dépôts aurifères, d'après le type de dépôt ou la géologie locale, l'échantillon, et les conditions de l'environnement en surface. Ce système expert sera décrit dans un article de la CGC en 1991 et permettra d'évaluer la réceptivité des clients de la CGC face à cette forme de transfert de technologie et de connaissances. Finalement, des discussions ont été entamées en vue de la signature d'une lettre d'entente entre les géochimistes de la CGC et le British Geological Survey sur l'étude conjointe du recours aux réseaux neuronaux pour la classification des données géochimiques en termes du poids de l'indication de la présence potentielle de minéraux.

Deux autres géoscientifiques des Divisions de géophysique et de la lithosphère et du Bouclier Canadien étudient l'application des systèmes experts à la prédiction des orages géomagnétiques et à la classification des roches métamorphiques riches. Cette dernière application fait le plus appel aux techniques de pointe. Un prototype a été réalisé en Prolog et a été analysé; l'expérience acquise grâce à ce projet sera intégrée à un système expert à jour, avec les récents développements de l'approche de prédiction. Il est probable qu'une coquille commerciale sera utilisée pour la mise au point du système expert. À l'heure actuelle, on envisage plusieurs options pour la coquille.

Au Centre géoscientifique de l'Atlantique, à Dartmouth en Nouvelle-Écosse, on a utilisé la fonctionnalité hypertexte de VP-Expert 2.0 pour préparer un manuel d'utilisateur sur divers appareils de relevés océanographiques de bord. L'application est plus concentrée sur la fonctionnalité hypertexte que sur la base de connaissances et les décisions de branchement associées. Toutefois, le progiciel a démontré son utilité en ce qui a trait à la production de l'information nécessaire au moment approprié et dans les délais nécessaires.

Finalement, un des membres du personnel de la Division de la cordillère, située à Vancouver en Colombie-Britannique, fournit des informations géoscientifiques destinées à un projet en IA de la B.C. Geological Survey Branch. Ce projet vise le développement d'un système expert pour aider à l'évaluation des ressources minérales dans la zone de cartographie du nord de la chaîne de montagnes Coast. La composante IA de ce projet est en cours de préparation par Alan Campbell & Associates; Campbell était un membre de l'équipe du Stanford Research Institute qui avait mis au point Prospector, dans le cadre d'un contrat avec la U.S. Geological Survey.

Conclusions

On a pu constater que pour l'instant, les activités de la Commission en IA se limitent aux projets liés à l'évaluation des ressources minéralogiques. Dans le contexte actuel de restrictions financières et en personnel, il est peu probable que l'envergure de nos activités dans le secteur change de manière notable dans un futur proche. Il est aussi peu probable que la Commission dispose des ressources financières nécessaires pour participer à des projets à frais partagés avec des entrepreneurs externes en IA; même une participation se limitant à 50 % des coûts de projets du genre pourrait gruger la part réservée aux projets extérieurs à l'IA dans la Division. Toutefois, l'évolution limitée des projets décrits plus haut se poursuivra. Si les résultats de ces projets sont encourageants, on pourra alors proposer l'affectation de nouvelles ressources aux projets en IA. De plus, les gestionnaires du secteur ont récemment manifesté un intérêt accru pour l'IA et si l'on en vient à identifier des applications «ministérielles» de l'IA, il est possible que l'environnement IA change considérablement.

Par D.G. Goodenough, J.-C. Deguise, R. Garrett, A. Lane et D.E. Richardson.

Groupe des conseillers gouvernementaux

Le Groupe des conseillers gouvernementaux (GCG) est le successeur du Bureau des conseillers en gestion (BCG). Nous faisons maintenant partie d'un organisme opérationnel spécial : Consultation et Vérification Canada. Comme auparavant, les services de consultation sont dispensés au gouvernement sur une base essentiellement lucrative.

Le GCG continue à s'intéresser activement aux technologies stratégiques, dont l'intelligence artificielle constitue un élément central. Au cours des cinq dernières années, nous avons réalisé un certain nombre de projets en IA pour le compte de nos clients.

Le Groupe de conseillers gouvernementaux offre des services de soutien à ses clients et organise des rencontres et des échanges sur l'IA à l'intention des intervenants des secteurs public et privé. Le GCG agit souvent dans le cadre d'alliances établies entre le secteur privé, les universités et les laboratoires gouvernementaux. Ces alliances assurent l'accès aux meilleures ressources disponibles, où qu'elles soient. Grâce à cette formule, les clients obtiennent le meilleur produit possible et les chercheurs peuvent recueillir des données et faire valoir leur contribution.

Projets du GCG en IA et disciplines connexes

Reconnaissance automatique de la parole (RAP)

- Reconnaissance des phonèmes par réseaux neuronaux
- Système automatisé pour l'évaluation des dispositifs de RAP

Fusion des données

- Sélection par réseaux neuronaux de doctrines de tir pour les systèmes de défense antimissiles

Sonar

- Reconnaissance des signaux par réseaux neuronaux

Jeux de guerre et simulation

- Réseau d'ordinateurs utilisés dans les jeux, les simulations et l'affichage de combats navals (plates-formes, stratégies, tactiques, cartes)

Systèmes experts

- Conception et spécifications prototypes pour les systèmes experts utilisés dans les essais de toxicité : acceptation des données, sélection et exécution d'analyses de tables de survie

Etudes sur la recherche de pointe

- Travaux de recherche et développement réalisés au Canada dans le domaine des technologies à interaction vocale
- Travaux de recherche réalisés en Amérique du Nord dans le domaine de l'enseignement assisté par ordinateur intelligent
- Travaux de recherche et développement (et application) réalisés au Canada dans le domaine des réseaux neuronaux.

Élaboration de programmes

- Coordination et soutien pour l'établissement d'un programme en IA

Éducation et sensibilisation du public

- Séminaires d'initiation, formation avancée et publications sur les disciplines de l'intelligence artificielle

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

D^r^ Zachary Jacobson
Groupe des conseillers gouvernementaux
365, avenue Laurier ouest
Ottawa (Ontario)
K1A 0S5
Téléphone : (613) 995-9863
Télécopieur : (613) 952-8295
Courrier électronique : zack@ncs.dnd.ca

Conseil national de recherches du Canada

Introduction

Au Conseil national de recherches du Canada (CNRC), le Laboratoire des systèmes intelligents de la Division de génie électrique a entrepris son programme d'intelligence artificielle appliquée au début de 1987. Les activités du programme visent le développement d'outils et de méthodes pour les systèmes à base de connaissances et leur application en fonction de besoins réels. Le Laboratoire a pour mandat de :

> Développer, par l'entremise de travaux de recherche appliquée et de la collaboration avec l'industrie et les universités canadiennes, la technologie des systèmes intelligents qui permettra d'améliorer la position concurrentielle de l'industrie canadienne dans les nouveaux secteurs de la robotique fondée sur les capteurs et des systèmes à base de connaissances.

Dans le cadre du mandat général du Laboratoire, le programme de recherche appliquée en IA poursuit les objectifs spécifiques suivants :

1. Établir un laboratoire national d'excellence dans le secteur de l'IA appliquée par la réalisation de projets qui offrent des défis techniques et comportent un potentiel commercial.

2. Établir une structure de soutien pour les projets relevant du Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC.

3. Fournir au CNRC une structure favorisant la collaboration internationale dans le domaine de l'intelligence artificielle.

4. Recueillir des données sur la technologie et les applications de l'IA afin d'en faciliter la diffusion à d'autres groupes du CNRC ainsi qu'aux industries canadiennes.

5. Établir des installations de démonstration et de formation à l'intention d'autres groupes du CNRC et des industries canadiennes.

Soutien de base

Une part importante des efforts du programme ont d'abord été orientés vers l'établissement d'une installation centrale et l'acquisition des compétences nécessaires au soutien de divers projets d'application. Le programme est mis en oeuvre par la Section de recherches en informatique du Laboratoire, dont l'équipe de départ détenait une expertise en apprentissage assisté par ordinateur et en technologie des bases de données. Il y avait bien eu, aux tout débuts du projet d'apprentissage assisté par ordinateur, un certain intérêt pour l'IA, mais cet intérêt était demeuré marginal. La création du nouveau programme d'IA nécessitait l'acquisition immédiate des compétences spécialisées nécessaires à sa mise en oeuvre. On a répondu à ce besoin en recyclant le personnel existant, en embauchant des ressources supplémentaires, en dispensant des cours spécialisés de courte durée et en organisant des visites éducatives. On a ainsi développé un noyau de compétences de base en IA appliquée, qui soutient aujourd'hui plusieurs projets d'applications.

Un deuxième aspect du développement de nos installations a été l'acquisition du matériel et des logiciels informatiques nécessaires aux activités du programme. À l'heure actuelle, notre parc informatique comprend 11 postes de travail Sun, un ordinateur Symbolics 3620, deux ordinateurs MAC-II, un ordinateur MAC-SE, et plusieurs micro-ordinateurs de type PC (XT, AT et 386). Les postes de travail Sun, qui constituent la principale installation de calcul de la Section, sont exploités en réseau avec une machine LISP. Les principaux outils de développement utilisés sont ART (outil de raisonnement automatisé), Common LISP, Prolog, et C. Les autres outils de développement de logiciels comprennent Goldworks, Nexpert, Poplog, C++, Eiffel, Smalltalk et une variété de petites coquilles de systèmes experts. Nous avons fait des investissements considérables sur le plan de la formation et de l'apprentissage, afin que ces outils puissent être utilisés efficacement dans le développement d'applications,

Les exigences des projets d'application existants et éventuels, qui sont identifiés en consultation avec les utilisateurs de la technologie, orientent le développement des installations de soutien. On accorde la priorité aux applications qui peuvent mener au développement de produits ou à l'amélioration d'un procédé industriel. Certains projets sont axés sur le développement d'une application particulière, tandis que d'autres visent l'acquisition des compétences nécessaires à l'élaboration d'applications dans un nouveau secteur. Il est souhaitable que chaque projet fasse appel à la participation des secteurs industriel et universitaire. Le

partenaire industriel représente un client éventuel, de même qu'une source d'expertise dans le domaine d'application, tandis que le partenaire universitaire apporte une expertise complémentaire dans le domaine de l'IA, dans le champ d'application, ou les deux.

Les critères de sélection des projets comprennent la pertinence de l'application, les possibilités d'accès à des ressources extérieures et l'influx technologique potentiel, les exigences du client, la disponibilité des ressources permettant d'y répondre, et les intérêts du personnel. Nous décrirons, dans les pages qui suivent, certaines des activités actuelles du programme afin d'illustrer les domaines d'application et l'importance de la participation du secteur industriel.

Interface en langage naturel

L'interface d'un système informatique interactif est déterminée par les besoins de l'utilisateur, de même que par les caractéristiques propres au domaine d'application. L'interface de type menu constitue un mode d'interaction classique avec l'utilisateur. Cependant, dans des applications telles que les épreuves et la formation assistée par ordinateur, ce type d'interface sera inacceptable si le menu fournit à l'utilisateur les indices nécessaires à la formulation des données à entrer. Dans de telles applications, il est nettement préférable d'utiliser une interface en langage naturel qui obligera l'utilisateur à construire ses entrées sans assistance indue du système.

On travaille actuellement au développement d'une telle interface qui sera utilisée avec la coquille de système expert tuteur TRILOGY [1], produite par Métavision Inc. de Montréal. L'interface en langage naturel fonctionne en français et permet à l'utilisateur de communiquer avec le module d'explication du système tuteur. Ce projet a pour objectif d'élaborer un prototype d'interface qui pourra être utilisé dans un domaine de connaissances particulier, et de définir les méthodes nécessaires pour l'adapter à d'autres domaines.

Apprentissage par les machines

L'élément central de la construction d'un système expert est l'assemblage et le codage des connaissances sur lesquelles il sera basé. Même si l'on a accès à un spécialiste du domaine, il est souvent difficile pour lui d'articuler ses connaissances en donnant une description complète de son processus de raisonnement. C'est pourquoi l'on a consacré des efforts considérables à l'automatisation de l'acquisition des connaissances par l'entremise des techniques d'apprentissage machine. Une technique qui s'est révélée efficace dans des applications pratiques est l'apprentissage par l'exemple [2]. Les exemples peuvent être fournis par le spécialiste ou, plus souvent, tirés d'une base de données de cas déjà résolus, qui permettent de formuler un ensemble de règles pouvant ensuite être appliquées à de nouveaux cas. En plus de créer la base de connaissances initiale, les techniques d'apprentissage machine peuvent être appliquées en mode incrémental pour modifier la base de connaissances en fonction du rendement et ainsi faire en sorte que le système apprenne par expérience.

Dans le cadre du programme du CNRC, on étudie l'application des techniques d'apprentissage machine dans le cadre de l'analyse de la criminalité et du contrôle des systèmes de fabrication. Dans le premier cas, il s'agit essentiellement de cerner les similarités dans les données et de développer une structure qui pourra appuyer les processus d'identification et de diagnostic. Ces travaux ont commencé lors d'une visite d'étude à l'Institut Turing, où l'on étudiait un programme utilisant une méthode basée sur la logique formelle pour simplifier la description de l'ensemble de données [3]. On étudie également une deuxième technique [4], utilisée à l'Université Columbia, qui fait appel à une approche orientée mémoire. Ces deux techniques sont appliquées aux données sur les vols par effraction fournies par le Service de police de la ville d'Ottawa. Les premiers essais ont démontré que ces méthodes permettent d'identifier des noeuds d'éléments apparentés. On s'efforce actuellement d'améliorer la structure des attributs utilisés pour décrire les événements composant l'ensemble.

On explore l'application de l'apprentissage machine aux systèmes de fabrication dans le cadre du développement d'un système superviseur intelligent. IMAFO (Intelligent MAnufacturing FOreman — contremaître intelligent en fabrication) incorpore un module qui apprend à partir des plans insatisfaisants et fournit des conseils qui aident le planificateur des procédés à prendre des décisions en vue d'améliorer le rendement. La mise en oeuvre du prototype utilise actuellement un simulateur de procédés pour traiter les commandes et afficher les résultats de l'exécution. La prochaine

étape consistera à tester IMAFO dans un environnement réel de planification des procédés.

Suivi et diagnostic de l'état des moteurs

Ce projet a pour objectif d'étudier l'application des systèmes à base de connaissances aux tâches de suivi de l'état des moteurs et du diagnostic des défaillances. Ce projet a été entrepris en collaboration avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique et fait partie d'une étude plus vaste sur le suivi de l'état des moteurs réalisée par ce laboratoire pour le compte du ministère de la Défense nationale.

L'état des moteurs et d'autres machines complexes est indiqué par des paramètres comme la température, la pression, la puissance de sortie, le bruit, la consommation de carburant et de lubrifiant, l'état physique des composants et d'autres mesures générales de la performance. Les nouvelles technologies des capteurs et de traitement permettent aussi de tenir compte de mesures telles que l'analyse des résidus d'huile, l'analyse spectrale des produits d'échappement et l'analyse des vibrations. L'information qui aide à l'interprétation des paramètres de performance se trouve parfois dans le journal du matériel, dans les dossiers d'entretien régulier et de remise en état, dans les dossiers de remplacement des composants et dans les manuels d'entretien, ou peut être déduite grâce à l'expérience du technicien d'entretien. La quantité totale et la complexité des informations disponibles sont telles que seulement une partie restreinte des informations est utilisée pour évaluer l'état d'une machine ou diagnostiquer une défaillance, et ce, même par un technicien d'expérience. La technologie de l'intelligence artificielle permet de combiner les connaissances disponibles et les données provenant d'une machine spécifique, de manière à mettre à la disposition du technicien un moyen d'utiliser plus efficacement les informations disponibles pour l'évaluation de l'état du matériel. Elle peut guider le technicien dans la sélection des procédures de test appropriées, produire une évaluation générale de la situation à partir des données rétrospectives ou des données actuelles des tests, et assurer la continuité des tâches réparties sur plus d'un quart de travail ou effectuées par plus d'un technicien. La technologie de l'IA peut aussi être appliquée à l'analyse des données historiques et aux données de banc d'essai pour trouver les relations qui peuvent servir à l'identification ou à la prédiction des défaillances du matériel.

La première phase de ce projet a mis l'accent sur le développement d'un prototype afin de démontrer la faisabilité d'un système conseiller à base de connaissances pour aider les techniciens d'entretien novices ou intermédiaires à diagnostiquer les défaillances d'un moteur, identifier le sous-système mécanique à l'origine de la défaillance, et recommander les correctifs appropriés. Le processus d'acquisition des connaissances fait appel aux informations fournies dans les manuels techniques et à l'expertise des techniciens chevronnés. Un prototype préliminaire de coquille de diagnostic a été mise en oeuvre et testée dans une application visant les problèmes d'accélération du turbo-réacteur J-85 utilisé dans les aéronefs CF-5 des Forces armées canadiennes [5]. On a commencé à travailler à l'automatisation du processus d'acquisition des connaissances et l'on compte élargir le projet pour tenir compte du problème plus général du suivi de l'état du matériel.

Systèmes experts en temps réel

La plupart des systèmes experts visent des problèmes statiques. On leur soumet les paramètres d'une situation et ils produisent une évaluation. Les systèmes experts en temps réel, cependant, doivent traiter une situation en évolution constante et des valeurs d'entrée qui peuvent n'être valides que pour une période de temps limitée. L'exactitude de la sortie dépend donc du résultat du calcul et du moment auquel le résultat est produit. Mais la rapidité de la réponse n'est pas le seul facteur en jeu. Le système expert en temps réel doit être capable d'identifier des décisions critiques et d'adapter les priorités en fonction de la situation immédiate. Le système doit être en mesure de fonctionner en continu et de réagir à des événements qui ne sont pas programmés. Il doit gérer ses ressources disponibles de puissance de calcul, de temps et d'espace mémoire. Le système expert en temps réel doit incorporer dans sa base de connaissances des informations sur la structure du processus, les procédures de fonctionnement normales, la conception physique de l'installation ou de l'usine, le déroulement escompté, les correctifs pour les défaillances connues, et les heuristiques utilisées par les opérateurs et les concepteurs du système. En outre, advenant un incident ou une panne, le système doit maintenir un registre des données, des décisions et des résultats des opérations du système avant la survenue de l'incident, et avoir la capacité d'utiliser ces données à des fins de reconstitution et d'analyse. Le système expert en temps réel doit être très performant pour

être appliqué efficacement dans le secteur de la fabrication et des industries extractives, où les avantages économiques potentiels sont considérables.

Dans le cadre du projet PRECARN, le CRNC collabore avec MPB Technologies Inc., le centre de technologie Noranda, l'Université du Nouveau-Brunswick, l'Université de Waterloo, l'Université McMaster, l'Université Carleton, l'Université Laval et l'Université d'Ottawa au développement d'un système expert évolué en temps réel. Les efforts initiaux visent des applications de commande de procédés, mais le projet a pour but de créer un environnement de développement de système expert en temps réel qui soit suffisamment général pour permettre des applications dans d'autres domaines. La première phase du projet comportait la réalisation d'une étude de faisabilité, qui a été effectuée en 1989 et dont le rapport définissait un projet de développement étalé sur cinq ans. Ce projet est l'un des quatre projets qui ont été retenus par PRECARN.

Systèmes conseillers intelligents

Les systèmes avec fonctions intégrées de traitement et de mémorisation des données constituent un environnement naturel pour l'application des systèmes à base de connaissances dans le contexte des services de soutien à l'utilisateur. Le recours à un «conseiller intelligent» à titre d'interface entre l'utilisateur et le système peut faciliter la familiarisation d'un nouvel utilisateur du système, aider l'utilisateur occasionnel ou de niveau intermédiaire, et assurer les services d'aide à l'utilisateur expérimenté dans des situations spéciales. C'est dans ce contexte que le CNRC, l'Université Laval, l'Université de Leeds, le groupe des systèmes d'information de Price Waterhouse Québec et Systèmes XA Inc. collaborent au développement d'un système conseiller intelligent pour des applications générales [6]. L'objectif est l'identification et le développement d'un logiciel générique de base qui permette la création et l'implantation générales de systèmes conseillers et le développement des méthodologies pour l'application du système à des domaines spécifiques et son adaptation aux exigences de l'utilisateur. Le projet a adopté une approche montante, ce qui signifie qu'un sujet spécifique a été identifié aux fins de la démonstration de faisabilité et que la solution de ce problème spécifique sera ensuite généralisée à un ensemble plus large de domaines d'application. Le domaine d'application retenu pour la validation du principe est la phase de modélisation conceptuelle de la méthodologie de conception de base de données. Le prototype de démonstration du conseiller sera appliqué à un outil de conception graphique appelé Silverrun-ERM, produit par Systèmes XA Inc., qui soutient la modélisation conceptuelle de bases de données à partir du modèle entité-relation.

Le conseiller intelligent est destiné à remplir trois principales fonctions. D'abord, pour initier l'utilisateur néophyte au système, il devra fonctionner comme un système tuteur intelligent, en contrôlant l'interaction structurée avec l'utilisateur telle que définie dans une base de connaissances spécifiques à un domaine. Deuxièmement, il doit fournir de l'aide en direct en réponse aux demandes de l'utilisateur. Cette aide devrait aider l'utilisateur à réaliser son objectif immédiat. Enfin, le conseiller doit contrôler l'interaction de l'utilisateur avec le système, tenter d'identifier les buts de l'utilisateur et lui fournir, au besoin, des conseils en fonction des buts identifiés et des stratégies de conception courantes définies dans la base de connaissances relative au domaine. Dans chacun de ces modes de fonctionnement, le conseiller doit transférer les connaissances du domaine à l'utilisateur sous une forme qui corresponde à son niveau de compétence et à ses besoins immédiats.

Soutien apporté aux activités extérieures

Par l'entremise du Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du CNRC et du Programme des technologies stratégiques en automatisation et robotique (TSAR) de l'Agence spatiale canadienne, le Programme d'IA appliquée fournit de l'assistance technique à divers projets mis en oeuvre par les industries canadiennes. Il s'agit notamment d'un projet de développement de système expert pour l'affectation de la main-d'oeuvre, entrepris par BCW Systems Ltd. de Richmond Hill (Ontario); d'un projet de système tuteur médical, entrepris par Knowledge House Publishing Ltd. de Halifax (Nouvelle-Écosse); d'un outil d'analyse de données pour système expert, entrepris par Knowledgeworks Research Ltd. d'Ottawa; d'outils de développement de systèmes d'apprentissage à base de connaissances et de systèmes de simulation intelligents, entrepris par la division Softwords des éditions Porcepic de Victoria (Colombie-Britannique); d'un projet de planification des opérations de la station spatiale, entrepris par Dynacon Enterprises Ltd. de Peterborough (Ontario); et d'un projet de système automatisé de gestion des données pour la station spatiale, entrepris par Spectrum Engineering Corp. Ltd. de Kingston

(Ontario). Bon nombre de ces projets en sont encore à l'étape de la recherche et du développement, mais certains ont déja produit des biens et services commercialisables basés sur les travaux auxquels le CNRC a contribué. Knowledgeworks commercialise un progiciel appelé Knowledge-Seeker, qui permet aux utilisateurs d'extraire d'une base de données des informations utiles à la prise de décisions sous forme d'arbre de décisions ou de règles à base de connaissances. Knowledge House Publishing Ltd. commercialise un progiciel éducatif qui permet aux étudiants en médecine d'intégrer et d'appliquer leurs connaissances précliniques et cliniques dans le traitement simulé d'un patient. Softwords, qui est devenue l'une des entreprises commerciales nord-américaines les plus avancées du point de vue technique dans le secteur des systèmes d'apprentissage à base de connaissances, fournit des systèmes basés sur ses technologies KBL et Smart Simulator Trainer à des organismes gouvernementaux et industriels au Canada et aux États-Unis, pour la formation dans une vaste gamme de domaines.

Autres applications de l'IA au CNRC

Les travaux de la Section de recherches en informatique sont surtout axés sur le développement de techniques et de méthodes génériques en IA. Ces travaux représentent plus de 60 % des activités du CNRC dans le domaine de l'IA. Les autres activités du CNRC visent la mise au point d'applications et font appel à la technologie de l'IA en tant qu'outil permettant de répondre aux exigences d'une application particulière. À la Section d'automatique du Laboratoire des systèmes intelligents, l'IA est appliquée à la planification des parcours en robotique et au développement de véhicules autonomes. La Section de robotique et automatisation, qui est située à Winnipeg, applique la technologie des systèmes experts à la définition de procédures pour la soudure par résistance, au diagnostic clinique des thromboses veineuses profondes, et à l'évaluation des risques d'hémorragie des patients ayant subi une amygdalectomie ou une adénoïdectomie [7]. Au Laboratoire de génie électromagnetique et d'énergie, on travaille au développement d'un système expert pour améliorer la protection contre le brouillage électromagnétique [8]. Au Laboratoire des systèmes de la Division de génie mécanique, à Ottawa et à Vancouver, on utilise une combinaison de technologies de conception orientée objet, de gestion de base de données et de systèmes experts dans divers systèmes d'appui à la prise de décisions. Les applications visées comprennent l'affectation des équipages dans le secteur du transport maritime, la planification de la production forestière, la simulation d'aérotrains, l'ordonnancement à base de contraintes et un conseiller en maintenance pour le système de commande d'une machine à papier [9]. L'Institut de recherche en construction a mis sur pied le Laboratoire des technologies de pointe en construction, qui est établi à Calgary et a pour mission de faciliter l'intégration des technologies de l'information au sein de l'industrie de la construction. Ce groupe s'intéresse aux sujets particuliers suivants : techniques d'apprentissage évoluées, systèmes de planification pour la planification stratégique et la mise en oeuvre, systèmes de conception et de vérification automatisées, et systèmes permettant aux utilisateurs expérimentés ou débutants d'accéder aux technologies complexes. Au sein de l'Institut de génie des matériaux, situé à Montréal, les techniques d'IA sont appliquées à la conception de matériaux composites de pointe. Dans chacune de ces activités, la technologie de l'IA fait partie des nombreux outils qui sont appliqués à la résolution de problèmes particuliers. Dans quelques cas, les projets mis en oeuvre font appel au soutien du programme générique, et l'on s'attend à ce que cette interaction s'accentue en fonction de l'évolution du programme générique.

Résumé

L'intelligence artificielle est une technologie de plus en plus répandue qui commence à trouver sa place dans une large éventail d'applications et qui aura, au cours des deux prochaines décennies, des répercussions économiques considérables. Le Laboratoire des systèmes intelligents de la Division de génie électrique du CNRC a inauguré son programme d'intelligence artificielle appliquée au début de 1987. Les activités de ce programme sont axées sur le développement d'outils et de méthodologies de systèmes à base de connaissances, et sur leur application en fonction de besoins réels. Les projets retenus sont définis à partir des propositions venant de l'interne, ainsi que dans le cadre de consultations auprès d'utilisateurs et de collaborateurs éventuels au sein et à l'extérieur du CNRC. La priorité est accordée aux applications susceptibles de mener au développement de produits ou à l'amélioration de l'efficacité d'un procédé industriel. Idéalement, de tels projets font appel à la participation d'un partenaire industriel intéressé et capable de tirer des avantages industriels de ce projet, et à celle de partenaires universitaires qui apportent leur expertise. L'activité retenue doit relever du domaine général

de la recherche et du développement «préconcurrentiels», afin que la participation du CNRC entraîne des retombées qui aillent au-delà du projet immédiat. Certains projets visent le développement d'applications, tandis que d'autres peuvent avoir pour objectif immédiat l'acquisition des compétences nécessaires à la réalisation de projets d'applications dans un domaine particulier. Le CNRC privilégie les projets comportant des liens avec le secteur industriel et il invite les entreprises à lui soumettre des propositions de projets de recherche et développement conjoints visant l'application de la technologie de l'IA à la résolution de problèmes concrets.

Références bibliographiques

1. Heath, J., F. Elie et M. Habib. The educational potential of rule-based expert systems in the micro environment. *Compte rendu du 6e Colloque canadien sur la technologie de l'enseignement*, Halifax (Nouvelle-Écosse), 1989. pp. 85–89.

2. Quinlan, J.R., *et al.* Inductive knowledge acquisition: a case study. Dans *Applications of Expert Systems*, J.R. Quinlan, éditeur. Addison-Wesley, Sydney. 1987.

3. Muggleton, S. Duce, an oracle based approach to constructive induction. *Compte rendu de la dixième conférence annuelle sur l'intelligence artificielle*, Milan, 1987. pp. 287–292.

4. Lebowitz, M. Experiments with incremental concept formation: UNIMEM. Dans *Machine Learning*, 2, 103–138 (1987).

5. Abu-Hakima, S., *et al.* Jet engine technical advisor (JETA), *Proceedings of the Second International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*, Tullahoma (TN), 6–9 juin 1989. pp. 154–160.

6. Boulet, M.-M., *et al.* A design task advisor. Dans *Artificial Intelligence and Education, Proceedings of the 4th International Conference on AI and Education*, Amsterdam. 24–26 mai 1989. pp. 25-31.

7. Pizzi, N.J., S. Kapoor et J.M. Gerrard. Hematology expert system (HES) for tonsillectomy/adenoidectomy patients. *Proceedings SPIE Applications of Artificial Intelligence VII*, Orlando (FL). 27–31 mars 1989. pp. 884-893.

8. LoVetri, J. et al. «HardSys: Applying expert system techniques to electromagnetic hardening», Proceedings of the IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Denver (Colorado), 23–25 mai 1989. pp. 102–115.

9. Evans, S. S. Nuyan et R. Amyot. Expert system diagnosis in CD weight control. *Proceedings of the 76th Annual Meeting of the Technical Section, Canadian Pulp and Paper Association*, Montréal (Québec). 24 janvier au 2 février 1990, pp. A231–A235.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

J.W. Brahan
Institut de technologie de l'information
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6
Téléphone : (613) 993-2484
Télécopieur : (613) 952-7998
jack@ai.iit.nrc.ca

Organisations provinciales de recherche

Par Ernest Chang, Conseil de recherches de l'Alberta

Introduction

Nous avons communiqué avec tous les membres de l'Association des organisations provinciales de recherche du Canada (AOPRC) pour rédiger le présent compte rendu. Seules les organisations qui nous ont fait part de leurs activités, que ce soit de vive voix ou par écrit, sont présentées ci-après. Dans la mesure du possible, la description de chaque organisme a été reprise textuellement des documents qui nous ont été transmis. Signalons que ces rapports représentent uniquement les activités entreprises par les organismes membres de l'AOPRC, et non l'ensemble des activités financées par chacun des gouvernements provinciaux. Par exemple, bien que le Conseil de recherches de la Colombie-Britannique n'ait signalé aucune activité en intelligence artificielle, l'Advanced Systems Institute de la même province soutient des activités dans ce domaine en parrainant des organismes universitaires ou industriels.

Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick

Au Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick, des chercheurs utilisent la logique floue pour implémenter certains composants d'un système de commande/alarme/conseiller pour les pelles à benne traînante utilisées dans les exploitations minières à ciel ouvert. Ils ont également utilisé la logique floue dans un système de contrôle thermique à base de microprocesseurs.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Lee A. Danisch, P. Eng.
Chef de section, Électronique
Conseil de la recherche et de la productivité
C.P. 20 000
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 6B2
Téléphone : (506) 452-8994
Télécopieur : (506) 452-1395

Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ)

Ce rapport décrit les activités du laboratoire de Montréal uniquement.

Activités dans le domaine de l'intelligence artificielle

Vision artificielle

Dans le domaine de la vision artificielle, les activités en cours sont axées sur l'inspection visuelle automatisée et la robotique. On a proposé un projet qui porterait sur l'application des techniques d'inspection visuelle automatisée aux petites pièces métalliques usinées. Les techniques d'analyse d'images ont également été utilisées pour identifier les parasites dans les filets de poisson frais.

L'équipe de recherche en vision artificielle travaille avec différents matériels, dont des postes de travail Sun. Un laboratoire spécialisé est également disponible.

Systèmes experts

En ce qui a trait aux systèmes experts, les activités actuelles sont plutôt réduites en raison du retour au milieu universitaire de certains des chercheurs clés du CRIQ. Nous continuons cependant de nous intéresser à cette question, notamment aux applications dans les domaines suivants : automatisation de la fabrication, domaine biomédical et modules frontaux pour bases de données intelligentes.

Réseaux neuronaux

Nos activités dans ce domaine sont très récentes, soit depuis l'acquisition d'un simulateur de réseaux neuronaux HNC. Nous utilisons les techniques de réseaux neuronaux dans une application industrielle de reconnaissance des caractères.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Carole Rach
Centre de recherche industrielle du Québec
8475, rue Christophe-Colomb
C.P. 2000, Succursale Youville
Montréal (Québec)
H2P 2X1
Téléphone : (514) 383-1550
Télécopieur : (514) 383-3250

Conseil de recherches de la Saskatchewan

Les détails suivants ont été obtenus lors d'une conversation téléphonique avec Ravi Mathiel du Conseil de recherches de la Saskatchewan.

Le Conseil a défini quelques projets dans le domaine des applications de l'IA, mais aucun n'a été commencé. Il n'y a pas d'engagements fermes

pour le moment, mais l'on suit l'évolution de la technologie, et les prix commencent à baisser. Les projets retenus seront certainement axés sur des applications.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Ravi Mathiel
Conseil de recherches de la Saskatchewan
15, boulevard de l'Innovation
Saskatoon (Saskatchewan)
S7N 2X8
Téléphone : (306) 933-5499
Télécopieur : (306) 933-7446

Conseil de recherches de l'Alberta

Introduction

La Division des technologies de pointe a été mise sur pied en 1984, avec le mandat spécifique d'appliquer les techniques de l'intelligence artificielle, de la robotique et de l'automatique à des problèmes industriels concrets. En tant qu'organisme de transfert de technologie, la Division a travaillé avec le secteur privé et d'autres organismes, surtout dans le cadre de contrats de recherche.

En 1985, la Division disposait d'une équipe technique de 10 employés; aujourd'hui, elle compte plus de 40 employés et a été renommée Division d'informatique de pointe et de génie. En 1989, la Division a exécuté environ 25 contrats, qui ont rapporté 1,8 million de dollars. Il s'agissait, pour la plupart, de projets d'application en IA, en robotique et en automatisation, bien que la Division ait également travaillé dans d'autres domaines informatiques de pointe, comme le travail de collaboration assisté par ordinateur.

Depuis sa création, la Division a réalisé plus de 40 projets en IA, en robotique et en automatisation. La plupart de ses clients se trouvent en Alberta, mais elle a également travaillé ou fait équipe avec des entreprises de la Colombie-Britannique, de la Saskatchewan, du Manitoba et de l'Ontario. La Division, qui est l'un des principaux fournisseurs du Programme des technologies stratégiques en automatisation et robotique (TSAR) de l'Agence spatiale canadienne, fait également partie du réseau PRECARN. Elle a travaillé avec des entreprises et des organismes tels que les Laboratoires Hewlett Packard, Northern Telecom, Alberta Government Telephones, Environnement Canada, SED, MDA, IBM à Don Mills, et le ministère de la Défense nationale.

La Division gère en outre un programme de mise en valeur et de diffusion de la technologie, qui offre des séminaires et des ateliers sur les systèmes experts, la robotique et la fabrication de pointe. Elle maintient des relations de collaboration étroites avec le programme d'IA du Conseil national de recherches du Canada, et collabore avec le Laboratoire des technologies de pointe en construction (situé à Calgary) de l'Institut de recherche en construction du CNRC, dans le domaine de l'IA appliquée à la construction.

La revue trimestrielle *Intelligence artificielle au Canada* est une publication officielle de la Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur (SCEIO). Elle est réalisée depuis deux ans par l'équipe de la Division d'informatique de pointe et de génie du Conseil de recherches de l'Alberta.

Groupes de technologie

La Division d'informatique de pointe et de génie compte cinq groupes de technologie.

Intelligence artificielle appliquée aux opérations

Le groupe d'intelligence artificielle appliquée aux opérations se charge de l'identification, de l'acquisition, du développement et de la diffusion des technologies de l'intelligence artificielle appliquées aux problèmes opérationnels. Ce groupe exploite cinq technologies : les systèmes experts, le raisonnement basé sur des contraintes, le raisonnement temporel, la modélisation qualitative, la recherche sur les opérations et la simulation. Ces travaux trouvent des applications dans plusieurs secteurs : fabrication industrielle; conception, planification, ordonnancement; transports; ordonnancement des parcs de véhicules; aérospatiale; diagnostic des défaillances, maintenance; environnement; évaluation des répercussions, gestion des accidents, de même que dans la planification, la modélisation et la conception de procédés.

Le groupe compte investir des ressources dans un certain nombre d'initiatives de recherche et développement à l'interne : étude sur le développement conceptuel intelligent d'une bibliothèque de logiciels réunissant des algorithmes de satisfaction des contraintes, mise en oeuvre d'un programme de sensibilisation aux techniques traditionnelles appropriées, et suivi des progrès réalisés dans le domaine de l'IA.

Le groupe dispose d'un personnel technique de neuf employés (y compris le chef de groupe). Six

membres détiennent une maîtrise ès sciences en IA, une personne possède un doctorat en génie industriel, et deux ont un baccalauréat ès sciences (génie et informatique). Tous les membres de l'équipe ont de l'expérience dans les contrats de recherche et les entreprises conjointes avec l'industrie.

Apprentissage et de concertation

Le groupe d'apprentissage et de concertation s'intéresse à trois domaines complémentaires : les technologies de concertation, les systèmes d'apprentissage intelligents et les systèmes d'apprentissage par concertation. Les technologies de concertation visent à améliorer le processus de travail d'équipe par le soutien informatique direct des besoins de communication et des exigences de concertation particulières dans des domaines spatio-temporels.

Les systèmes d'apprentissage intelligents visent la création d'environnements interactifs intelligents qui gèrent le processus d'apprentissage et dispensent de l'enseignement par ordinateur. Ils comprennent les systèmes tuteurs intelligents (STI), les environnements de découverte guidés par ordinateur, la simulation interactive et les systèmes d'enseignement assisté par ordinateur (EAO). La fusion des technologies de concertation et des systèmes d'apprentissage intelligents élargit les systèmes d'enseignement par ordinateur pour englober l'apprentissage par concertation, qui permet à des équipes de travail d'apprendre des tâches coordonnées.

Ce groupe possède une formation et une expérience technique considérables. Trois des membres détiennent un doctorat (informatique), trois possèdent une maîtrise ès sciences (éducation spéciale, infographie, génie), et trois ont un baccalauréat ès sciences (informatique, psychologie). Trois des membres du groupe sont professeurs adjoints à l'Université de Calgary et à l'Université de Saskatoon.

Analyse des configurations et apprentissage machine

Le groupe d'analyse des configurations et d'IA s'intéresse surtout à l'interprétation des données et au nouveau domaine de l'apprentissage machine. Les activités visent les secteurs suivants : détecteurs et vision, reconnaissance des structures syntaxiques, systèmes connexionnistes et systèmes intelligents en apprentissage machine. Les techniques utilisées comprennent la représentation des connaissances, les mécanismes d'inférence, les algorithmes génétiques, le raisonnement basé sur des cas, et la découverte machine.

Parmi les projets à venir, mentionnons l'utilisation des techniques d'apprentissage assisté par ordinateur, l'interprétation à valeur ajoutée de données-images recueillies par satellite, de même que le développement de systèmes experts intégrant des outils informatiques d'acquisition des connaissances.

Le groupe compte quatre détenteurs de maîtrise ès sciences (vision artificielle, informatique), et trois bacheliers ès sciences (informatique, génie mécanique).

Intelligence artificielle en temps réel

Le groupe d'intelligence artificielle en temps réel s'intéresse à l'application des méthodologies de l'IA et des techniques de programmation évoluées pour améliorer les capacités des systèmes de commande et de surveillance en temps réel. Ces méthodes et techniques comprennent le raisonnement basé sur des contraintes, le raisonnement qualitatif, la maintenance de la cohérence, la représentation des connaissances, le raisonnement temporel, la programmation orientée objet, les méthodes de conception structurées, la simulation intelligente et la modélisation. L'utilisation des systèmes à base de connaissances en temps réel a pour principal avantage de réduire le fardeau cognitif imposé aux utilisateurs, ou de permettre la gestion efficace de systèmes de plus en plus complexes.

Les fonctions qui pourront être améliorées par l'utilisation de ces systèmes comprennent le traitement des alertes, l'analyse des tendances, le diagnostic des défaillances, et l'acquisition et le traitement dynamiques des données. Ces technologies sont appliquées dans les secteurs suivants : industrie pétrolière et gazière, services publics (pipelines, électricité, télécommunications), défense, médecine et aérospatiale.

Les membres du groupe ont acquis une expérience pratique dans le cadre des projets et travaux de recherche en cours. Deux d'entre eux détiennent une maîtrise ès sciences (informatique, génie), et deux ont une maîtrise en mathématique.

Robotique et technologies d'automatisation

Le groupe de robotique et des technologies d'automatisation vise à intégrer l'informatique de pointe aux systèmes mécaniques. Ces travaux englobent la conception et la mise en oeuvre de systèmes de

fabrication et de cellules de travail, de systèmes de commande/contrôle, de systèmes de planification et de manipulateurs robotiques. Le groupe s'intéresse aux technologies suivantes : robotique, automatisation, fusion de capteurs, contrôle de procédés et traitement de signaux.

Les membres du groupe détiennent de l'expérience dans les champs d'application suivants : conception, développement et mise en oeuvre de systèmes de commande, depuis les applications des contrôleurs logiques programmables jusqu'aux systèmes hiérarchiques et intelligents, en passant par la conception des contrôleurs; conception et développement de cellules de travail robotiques, y compris la simulation tridimensionnelle; intégration des capteurs pour les applications en robotique (proximité, perception tactile, force, couple, vision); fabrication intégrée par ordinateur (FIO); usinage à commande numérique automatisée, transport et manipulation de matériaux/pièces, et opérations de montage. Le groupe a déjà réalisé des projets dans les secteurs suivants : fabrication, médecine, aérospatiale, ressources naturelles, agriculture et industrie du spectacle.

Le groupe réunit un détenteur de doctorat en génie électrique (traitement des signaux numériques), un détenteur de maîtrise en génie électrique (robotique et dynamique), un détenteur de maîtrise en informatique, et deux bacheliers ès sciences (génie mécanique et informatique).

Ressources

Le groupe dispose des ressources suivantes : serveur de courrier électronique DEC MicroVAX, réseau de postes de travail Macintosh, IBM PC, Sun et Symbolics. Les outils utilisés pour le développement d'applications IA et de systèmes experts comprennent KnowledgeCraft, ART (outil de raisonnement automatisé) et Knowledge Engineering Environment (KEE), ainsi que Nexpert Object, Goldworks et Quintus Prolog. Les logiciels de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO) comprennent : AutoCAD, Silma Cimstation (simulation de la cinématique du robot), et Smartcam.

La Division gère également une installation de démonstration en fabrication de pointe qui lui permet de faire des expériences en CAO/FAO, robotique, fusion de capteurs et contrôle informatique intégré; on y trouve notamment un robot Puma et un robot Adept, un système de convoyeur dotés d'éléments faits sur mesure, et une fraiseuse à commande numérique automatisée à quatre axes.

Projets

Voici des exemples des projets récents dans le domaine de l'IA :

- *Alberta Government Telephones (AGT)* : Contrat visant le développement d'un système expert de configuration sur PC pour un petit commutateur téléphonique devant être commercialisé au détail.

- *Ministère des Transports de l'Alberta* : Contrat visant la création d'un système expert devant être utilisé dans la conception des intersections de routes secondaires. On travaille actuellement à l'intégration de ce système aux installations du client.

- *Division de biotechnologie* : Projet conjoint avec la Division de biotechnologie du Conseil de recherches de l'Alberta visant le développement et la mise en oeuvre d'un prototype de système pour l'ordonnancement automatisé de leur usine de fermentation, à l'aide de techniques basées sur des contraintes.

- *Computer-Based Training Systems Ltd. (CBTS)* : Projet de recherche conjoint avec CBTS, de Calgary, visant le développement d'un système expert d'enseignement assisté par ordinateur, comprenant la conception du programme d'études, le développement des cours, ainsi qu'un module de création d'examens.

- *D&S Knowledge Systems Inc.* : Projet de recherche conjoint avec cette entreprise de Calgary, visant le développement d'un système expert pour l'analyse des profils de sondage. Ce projet intégrait un système expert et LOGMATE, un poste de travail de quatrième génération pour l'analyse des profils de sondage. Ces deux composants offrent les capacités suivantes : infographie, base de données, transmission de données, calcul et production de rapports. Selon les données relatives aux profils de sondage, le système expert exécutera automatiquement une analyse des données ou suggérera à l'utilisateur des méthodes d'analyse spécifiques aux données. Le système est rédigé en langage C, et tourne sur un compatible AT, ainsi que sur des micro-ordinateurs utilisant le système d'exploitation Unix.

- *Dataspan Technologies Inc.* : Projet de recherche conjoint avec cette entreprise de Calgary, visant

l'interprétation automatique des caractères numériques et des symboles manuscrits sur les cartes et les transparents cartographiques. Ce système à base de connaissances pour la reconnaissance des caractères/mots vient compléter le logiciel de conversion trame/vecteur et les installations existantes d'édition de vecteurs. Le système de classification des caractères numériques a été amélioré par l'intégration d'un composant d'IA qui utilise les connaissances contextuelles locales, le format établi de représentation des chiffres, et les valeurs numériques prévues dans des documents particuliers pour résoudre les ambiguïtés et réaliser la concaténation des caractères numériques adjacents pour former des nombres. Le système final est mis en oeuvre en langage C sur un ordinateur Sun. Le succès de ce projet revêt une importance particulière pour le milieu de l'IA et pour l'industrie de conversion de documents. Ce projet a également amené l'entreprise à modifier ses opérations, c'est-à-dire à adopter un langage de programmation évolué et à incorporer un système de contrôle de la révision des logiciels et des outils de gestion de projets pour accroître sa productivité.

- *MDN/aéronefs CF-18* : Contrat visant le développement d'un système expert pour la maintenance et le diagnostic des défaillances des aéronefs CF-18. Ce contrat est entré en vigueur en avril 1990.

- *Det norske Veritas/Centre for Frontier Engineering Research* : Contrat de sous-traitance avec Det norske Veritas, maintenant transféré au Centre for Frontier Engineering Research d'Edmonton, visant le développement d'un système de surveillance intelligent pour le système de commande du lest dans les unités de forage pétrolier semi-submersibles. Ce contrat est l'un des éléments d'un contrat pour le programme TSAR de l'Agence spatiale canadienne.

- *Système expert pour l'interprétation des essais de sondage* : Contrat ayant pour objet d'évaluer la faisabilité d'un projet de développement de système expert pour l'interprétation des essais de sondage. On a conçu et mis en oeuvre un prototype de mécanisme de modélisation qualitative pour l'interprétation des données graphiques, qui identifie les courbes caractéristiques correspondant à des phénomènes physiques.

- *HERMES (Heuristic Emergency Response Management Expert System)* : Il s'agit d'un système expert conseiller pour la gestion des déversements de substances dangereuses. Le prototype de faisabilité a été construit pour le compte des Services de sécurité publique de l'Alberta et de Protection civile Canada. Le contrat de suivi, qui est financé par un regroupement de cinq ministères provinciaux et fédéraux, visera le perfectionnement du prototype initial.

- *International Submarine Engineering Ltd. : Gestion de l'alimentation électrique* : Contrat de sous-traitance pour cette entreprise de Port Moody (Colombie-Britannique), dans le cadre d'un contrat pour le programme TSAR de l'Agence spatiale canadienne. Ce contrat vise la conception du système de gestion de l'alimentation du Système mobile d'entretien (MSS) pour le projet de station spatiale. On utilise l'intelligence artificielle pour le module de diagnostic des défaillances.

- *ISIM (système de simulation intelligent)* : ISIM a été conçu pour intégrer les techniques de raisonnement et de représentation développées en IA avec la simulation d'événements discrets. On a créé un environnement de simulation en améliorant KnowledgeCraft par l'utilisation d'une méthode de représentation s'apparentant à Simula/DEMOS. L'environnement de spécifications d'ISIM est complété par un certain nombre d'outils : techniques traditionnelles d'analyse quantitative, telles que la méthodologie par surface de réponse et l'analyse de la dépendance qualitative. Le système expert peut utiliser ces outils pour réaliser un ensemble d'expériences optimales pour l'analyse du modèle spécifié.

- *Northern Telecom* : Série de contrats avec Northern Telecom de Toronto, visant la mise en oeuvre d'un système expert pour la planification des procédés d'insertion des composants de circuits imprimés. On procède actuellement à la mise en oeuvre de ce système expert dans d'autres installations au Canada.

- *PharmHand* : Projet pour le compte du Centre hospitalier régional de Red Deer, visant le développement d'une cellule de travail robotique pour la reconstitution des médicaments intraveineux entreposés sous forme de poudre. Le prototype de faisabilité a été construit, et l'hôpital tente de rassembler les fonds nécessaires à l'élaboration d'un prototype de production.

- *Process Planner π* : Il s'agit d'un outil qui peut servir à la planification des procédés, et qui est

basé sur la spécification, la planification et l'exécution de modifications dans les systèmes physiques à contrainte temporelle. Le système s'appuie sur la recherche dans les domaines du raisonnement temporel, de la planification, de la représentation des connaissances et de la compréhension des langues naturelles. Il comporte deux principaux éléments : une représentation de l'environnement et un planificateur.

- *SWIFT, système expert pour la prévision des alertes météorologiques* : Contrat avec MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. et le Service canadien d'environnement atmosphérique. Ce système facilite la prévision des alertes météorologiques à court terme et la diffusion des avertissements publics. SWIFT permet l'intégration de systèmes traditionnels, comme les bases de données, à un nouveau système de représentation météorologique. L'un de ses modules, METEOR, est un système expert pour la prévision des alertes météorologiques, qui a été développé au Conseil de recherches de l'Alberta par Renee Elio et John DeHaan. Ce système expert à base de règles, qui accepte des données météorologiques et géographiques, produit une évaluation de la situation et dispense des conseils. SWIFT illustre l'intégration des bases de données volumineuses à mise à jour fréquente et des capacités de raisonnement d'un système expert. Il tourne sur un ordinateur Xerox, en InterLISP, LOOPS et OPS4.

Pour de plus amples renseignements sur la Division d'informatique de pointe et de génie et sur le Conseil de recherches de l'Alberta, communiquer avec :

Dr Ernest Chang, chef de service
Chris Lumb, gestionnaire, liaison avec l'industrie
Division d'informatique de pointe et de génie
Conseil de recherches de l'Alberta
6815-8 Street N.E., 3e étage
Calgary (Alberta)
T2E 7H7
Téléphone : (403) 297-2600
Télécopieur : (403) 275-3003
INTERNET : echang@noah.arc.ab.ca
lumb@noah.arc.ab.ca

Service de renseignements sur la technologie : 1-800-661-2000 (Edmonton : 450-5000)

Transports Canada

Objet

Passer en revue l'expérience acquise par Transports Canada dans le domaine de la recherche en intelligence artificielle entre 1983 et 1990 et préciser des lignes directrices pour l'avenir.

Introduction

Le secteur des transports fait constamment appel à la technologie. Dans ce contexte, les responsabilités en matière d'exploitation de Transports Canada, par exemple pour ce qui est des systèmes de navigation aérienne, et ses responsabilités en matière de réglementation de sûreté et de sécurité exigent du Ministère qu'il évalue la possibilité d'appliquer de nouvelles technologies et, le cas échéant, qu'il favorise ou soutienne leur application. Le Ministère maintient à cette fin un centre interne de ressources techniques. Aux travaux de ce centre viennent s'ajouter des communications et de la recherche conjointe avec d'autres organismes fédéraux, notamment le Conseil national de recherches, ainsi que d'autres spécialistes canadiens et étrangers en technologie des transports. Le Ministère fait exécuter à contrat plus de 95 % du contenu de son programme de R-D, ce qui correspond annuellement à une somme comprise entre 25 et 35 millions de dollars.

Les priorités du programme de R-D du Ministère vont dans le même sens que celles des programmes de Transports Canada. Les travaux de R-D touchant les groupes d'exploitation comprennent par exemple la recherche sur les facteurs humains liée à la conception des postes de travail de contrôleur de la circulation aérienne, la R-D en matière de dégivrage, la R-D touchant la récupération des nappes de pétrole, la conception de brise-glaces et la R-D à l'appui du programme des importants investissements en capitaux (500 millions de dollars et plus par année) du Ministère. Le Ministère soutient aussi la R-D visant à accroître la sécurité dans le secteur, notamment par des travaux sur le système d'automatisation de la marche des trains, de concert avec les compagnies de chemin de fer, et sur des systèmes intelligents de gestion des véhicules sur les autoroutes, en collaboration avec des organismes des provinces et du gouvernement américain. La reprise en sous-oeuvre de ces travaux constitue un engagement de ressources en vue de contrôler les progrès technologiques et, lorsqu'il y a lieu, de favoriser leur application par de la R-D «exploratoire».

Les travaux de R-D en intelligence artificielle (IA) du Ministère ont débuté par un processus de contrôle technologique exploratoire en 1983. La R-D en IA du Ministère continue d'être exploratoire dans des domaines comme celui des réseaux neuronaux. Inversement, le transfert et la diffusion des technologies ainsi que des programmes explicites visant à établir des ressources de «gestion» d'applications font en sorte que le développement et l'implantation de systèmes experts relativement complexes se sont maintenant généralisés dans l'ensemble du Ministère, et tout particulièrement dans le secteur en question. On verra ci-dessous comment et pourquoi.

Expérience de 1983 à 1986

Faisant face à l'incroyable explosion des technologies de l'information à compter de la fin des années soixante-dix, le Ministère a accordé la priorité à la R-D venant appuyer les systèmes perfectionnés d'informatique, de télécommunications et de commande. (Cet impératif s'est vu renforcé par l'incapacité des moyens classiques de la technologie des transports, par exemple des avions et des trains plus rapides, à répondre seuls aux problèmes naissants que posaient les transports.) Dès 1983, il était devenu intuitivement évident que, si des systèmes experts pouvaient fournir des diagnostics médicaux précis, des systèmes de diagnostic semblables pouvaient et devaient être développés dans le domaine des transports. Le développement du système expert Delta Cats de G.E. pour la maintenance des locomotives et certains travaux préliminaires sur les systèmes experts de gestion des autoroutes et de transport des matières dangereuses sont venus confirmer cette intuition.

Les premiers travaux de recherche du Ministère ont culminé par un séminaire, tenu à Montréal en septembre 1985 et visant à regrouper des spécialistes en IA et des professionnels des transports afin d'effectuer l'analyse préliminaire des possibilités d'application de l'IA au domaine des transports et de conseiller le Ministère au sujet des prochaines mesures à prendre. (Le rapport de ce séminaire est indiqué dans la bibliographie à la fin de la présente note.)

Une étude de Paul Tuan du Stanford Research Institute au sujet d'un système expert d'amélioration de la répartition des véhicules ainsi qu'une communication intitulée «Expert System Primer» par T. Gomi d'Applied AI et R. Sylvester de Cognos ont servi de base au séminaire. L'effet le plus marquant de ce séminaire a peut-être été de remplacer

le scepticisme et l'incrédulité par l'enthousiasme. L'occasion a également permis d'établir les principes qui depuis lors régissent l'évolution de la R-D au Ministère.

- Les systèmes d'IA soutiennent la prise de décisions. Les systèmes experts reposent sur la «technologie des compétences».

- Un système expert peut être utilisé de manière efficace et économique pour presque toutes les tâches d'exploitation et de réglementation en matière de transports. Le secteur des transports comporte d'importants marchés à créneaux pour les réseaux neuronaux, la reconnaissance vocale, le traitement du langage naturel, les tuteurs intelligents et d'autres variantes de l'IA.

- Les systèmes experts constituent la forme la plus avancée des technologies de l'IA. Néanmoins, il faudrait au moins deux ans (à compter de 1985) pour acquérir les ressources nécessaires à la gestion de la R-D en matière de systèmes experts et pour développer ainsi que démontrer des applications de systèmes experts «simples».

- Il est important de «commencer». Le processus de gestion des projets de systèmes experts représente un mécanisme d'apprentissage essentiel.

La publication du rapport *Expert Systems: Their Application in the Canadian Transportation Sector* en janvier 1986 a mis un terme aux premières étapes de R-D en IA du Ministère. Dorénavant, l'accent serait mis sur le développement de systèmes experts, sur les progrès réalisés dans d'autres secteurs de l'IA et, le cas échéant, sur le développement d'applications d'autres technologies de l'IA.

Expérience de 1987 à 1990

Les secteurs éventuels d'application des systèmes experts aux transports ont été classés comme suit :

- Équipes des véhicules,
- Maintenance des véhicules,
- Contrôle externe des véhicules en circulation,
- Contrôle et exploitation des voies permanentes,
- Contrôle et exploitation de région terminale,
- Planification et réglementation de l'exploitation,
- Planification stratégique.

Chaque secteur a de nouveau été subdivisé afin de permettre l'identification des différents projets réalisables et utiles. La catégorie «Équipes des véhicules» a par exemple été subdivisée comme suit: contrôle des véhicules, diagnostics et dépannage des systèmes de véhicule, systèmes de navigation de bord, communications, contrôle de cargaison et dépannage, avis d'urgence, applications spécialisées (par ex. applications de bord pour la lutte contre les incendies et avis de procédure/réglementation. La catégorie «Contrôle et exploitation des voies permanentes» se compose des éléments suivants: détermination d'horaire et planification de capacité, communications et contrôle, diagnostics sur les installations et maintenance, prévisions météorologiques, comptabilisation de l'utilisation, procédures d'urgence et avis de procédure/réglementation.

Un certain nombre de systèmes experts relativement simples ont été développés entre 1986 et 1988. L'analyse de répartition/détermination d'horaire effectuée par Paul Tuan a été appliquée à une entreprise de transport semi-collectif de Vancouver, puis d'Edmonton. On a par ailleurs terminé un projet visant à aider le contrôleur de la circulation aérienne à s'acquitter de sa fonction d'évitement des collisions dans un espace aérien «restreint». Un système expert petit mais efficace a également été utilisé pour le soutien des travaux d'inspection maritime de la Garde côtière. Ces projets se sont révélés utiles, ils ont permis le développement des ressources existantes, et il serait facile d'en démontrer les avantages aux gestionnaires compétents.

En 1988, il était également devenu évident que le programme de R-D en IA de Transports Canada avait dépassé toutes les attentes. (Quelque 15 systèmes experts avaient été développés ou en étaient presque rendus à leur étape finale. On s'attendait à ce que cinq soient terminés.) Un deuxième séminaire a donc eu lieu. Il visait à confirmer les leçons apprises et à établir les lignes directrices de la R-D en IA au sein de Transports Canada, jusqu'au milieu des années 90. Le nombre de documents techniques produits pour ce séminaire ne faisait qu'affermir les croyances antérieures relativement aux vastes possibilités d'application de l'IA au domaine des transports. Voici la liste des sujets abordés:

- Système expert de résolution du brouillage entre systèmes radio,

- HERMES, système expert de gestion des déversements de matières dangereuses,

- Système de repérage sur les autoroutes à base de règles,
- Abstraction des signaux en vue de l'analyse machine des profils de signaux radar,
- Calculs de sixième génération : Interfaces avec le langage naturel, limitations et perspectives d'avenir,
- Réseaux neuronaux : Au-delà des systèmes à base de connaissances,
- Système expert de formation au contrôle de la circulation aérienne,
- SWIFT, système expert de prévisions par mauvais temp,
- Tendances futures en matière de contrôle de la circulation routière.

Les *Actes* du séminaire renferment plus de détails sur ces sujets et sur les six ateliers qui ont eu lieu la deuxième journée. Les résultats techniques obtenus renforçaient les objectifs du programme, fixés en 1986. Les discussions ont également révélé que les doutes exprimés quant à l'aptitude des ressources canadiennes en IA à répondre aux besoins de soutien technique dans le secteur des transports étaient sans fondement.

Actuellement, Transports Canada dépense plus de 2 millions de dollars par année en R-D dans le domaine de l'IA, principalement pour le développement de systèmes experts. En outre, le Groupe Aviation a établi des installations d'essai et d'évaluation de l'IA pour le Ministère. La R-D exploratoire sur les réseaux neuronaux, la reconnaissance vocale et les tuteurs intelligents laisse penser que ces technologies approchent du point où elles pourront s'appliquer aux transports.

Conclusion

La portée et la diversité des travaux de recherche en IA au sein de Transports Canada sont telles que leurs dimensions techniques, leurs possibilités et leurs divers aspects ne peuvent être saisis dans un seul document. Cette vue d'ensemble a donc fourni au lecteur une indication de la façon dont Transports Canada envisage la recherche en IA, particulièrement du point de vue des transports, et elle lui a donné un aperçu de son passé ainsi que de ses perspectives d'avenir.

Bibliographie

Proceedings of the Workshop on the Application of Expert Systems to Transportation. 12 septembre 1985, TP 7209E.

Expert Systems: Their Application in the Canadian Transportation Sector. Janvier 1986, TP 7328E.

AI-11. Proceedings of the Second Workshop on the Application of Artificial Intelligence to Transportation. 28-29 mars 1988, TP 9444E.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

M. R.T. Lewis
Recherche et developpement
Transports Canada
Tour C, 29e étage, Place de Ville
330, rue Sparks
Ottawa (Ontario)
K1A 0N5

La recherche universitaire en IA : Vue d'ensemble

Introduction

Bien avant que l'intelligence artificielle ne connaisse un essor prodigieux dans les années quatre-vingts, les universités canadiennes s'y intéressaient déjà. Parmi les universités qui y travaillent depuis longtemps (quelquefois depuis les années soixante), notons l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université Western Ontario, l'Université de l'Alberta et l'Université de Toronto. Depuis le milieu des années soixante-dix, les techniques d'IA ont régulièrement progressé dans les universités, au point où maintenant la plupart des universités canadiennes comptent au moins un membre du corps enseignant qui se consacre à la recherche en intelligence artificielle. Dans certaines universités, un grand nombre de professeurs, étudiants diplômés et adjoints à la recherche sont engagés dans diverses sous-disciplines de l'IA; d'autres s'y intéressent moins activement et ne comptent qu'un ou deux professeurs qui considèrent l'IA comme leur premier ou deuxième domaine de recherche.

Brève vue d'ensemble des possibilités en IA des universités canadiennes

Les possibilités en IA des universités canadiennes n'ont rien à envier à celles des autres pays. Tous les domaines de l'IA y sont représentés. La plus grande partie de ces recherches se déroule dans les départements d'informatique même si, progressivement, l'influence de l'IA s'étend à toute l'université. Les pages qui suivent présentent une vue d'ensemble très succincte des types de recherches en cours dans les universités canadiennes. Il est possible que certains projets et programmes aient été omis, mais ce résumé est exact en termes généraux.

La vision artificielle est l'une de nos grandes forces; des recherches dans ce domaine sont en cours dans toutes les universités du pays, surtout à l'Université de la Colombie-Britannique (UBC), l'Université Simon Fraser, l'Université McGill et l'Université de Toronto, et dans plusieurs autres établissements d'enseignement, notamment l'Université Dalhousie et l'Université de la Saskatchewan. Parmi les nombreuses applications de la vision artificielle, notons l'interprétation des images satellite, l'analyse du mouvement, l'interprétation de levés topographiques, l'examen de billots avant la coupe dans les scieries, etc.

Un autre important domaine de recherche est la représentation des connaissances, à laquelle s'emploie une équipe très compétente à l'Université de Toronto, des groupes importants à l'Université Simon Fraser et à l'Université de l'Alberta et de nombreux autres chercheurs de l'Acadie à Victoria, de Guelph à la Saskatchewan, de Waterloo à l'UBC. Les universitaires canadiens figurent parmi les meilleurs au monde dans les techniques de représentation des connaissances formelles, mais aussi dans des formes plus appliquées, telles que la programmation logique, les réseaux sémantiques, les cadres et les systèmes de production.

La compréhension des langages naturels est un autre important domaine de recherche au Canada; les experts se trouvent surtout à l'Université Simon Fraser, à l'Université de Toronto, à l'Université de Waterloo, à l'Université du Manitoba et à l'Université McGill. On y étudie l'analyse, la sémantique, la modélisation du discours et du dialogue et la compréhension de la parole. Les universités canadiennes montrent aussi un grand intérêt pour la cognitique; il existe un important centre de recherches à l'Université Western Ontario et d'autres dans diverses régions du pays. L'apprentissage et l'acquisition des connaissances occupent la recherche de plusieurs institutions canadiennes, notamment l'Université de Calgary, mais aussi l'Université de Régina, l'Université Simon Fraser et l'Université de Toronto. L'Université de Calgary est aussi un centre canadien de l'interaction opérateur–machine, bien que d'autres établissements d'enseignement exercent une activité importante dans ce domaine. La recherche sur les systèmes tutoriels intelligents et dans d'autres domaines de l'IA et de l'enseignement est très répandue dans le milieu universitaire canadien, en particulier à l'Université de la Saskatchewan, à l'Université de Montréal et à l'Université Laval, mais aussi dans des établissements plus petits comme l'Université d'Athabaska, l'Université du Québec à Montréal, l'Université du Québec à Chicoutimi, l'Université Trent et l'Université Memorial. La recherche sur les environnements logiciels de l'IA est en bonne voie, notamment à l'Université Carleton et à l'Université Queen's.

La robotique fait également l'objet d'études dans les universités canadiennes, notamment à McGill, habituellement dans divers départements de génie plutôt que dans les départements d'informatique. La recherche sur les systèmes experts est en cours dans les universités, parfois dans les départements d'informatique (comme à l'Université d'Ottawa),

mais également dans d'autres départements, dans des applications particulières nécessitant l'utilisation de la technologie des systèmes experts. L'Université Simon Fraser a adopté une approche intéressante pour favoriser la diffusion des technologies des systèmes experts dans l'ensemble d'une université. Elle a établi un laboratoire de systèmes experts aménagé entre autres à cette fin, financé en partie par le secteur privé et coordonné par le Centre de sciences des systèmes, consortium d'une douzaine d'écoles et de départements universitaires. Les chercheurs canadiens se sont aussi penchés sur les incidences sociales de l'intelligence artificielle, surtout à UBC, Waterloo et Toronto. Un rapport du Comité associé de l'IA décrit quelques-uns des effets de l'IA sur la société canadienne.

Principaux succès universitaires canadiens

CSCSI/SCEIO

En 1973, les universités canadiennes comptaient environ 30 chercheurs en IA; seuls quelques étudiants diplômés effectuaient des recherches dans ce domaine. L'activité industrielle en IA était presque inexistante au Canada ou ailleurs dans le monde. Néanmoins, ces pionniers audacieux estimaient que cette discipline allait prendre de l'ampleur et que les intérêts communs de l'IA canadienne seraient bien servis par la formation d'une société de coordination. C'est ainsi qu'est née la Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur (SCEIO), formée en 1973 à titre de première société nationale d'IA dans le monde (la SIGART d'ACM et l'AISB au Royaume-Uni existaient déjà, mais leur mandat a un caractère international).

En moins d'un an, cette société avait organisé un atelier à Ottawa, qui devait déboucher sur les conférences biennales instituées en 1976 à l'UBC. La boucle a été bouclée par la huitième conférence, tenue à Ottawa en 1990. La conférence de la SCEIO est maintenant considérée comme un événement important sur la scène internationale. Les critères sont très exigeants — d'ailleurs, le meilleur document de la conférence paraît dans la revue *Intelligence artificielle du Canada*, la plus ancienne des revues internationales dans ce domaine, et l'une des plus prisées. Ces conférences, dont le climat a toujours été amical et interactif, rejettent la formule des multiples sessions parallèles qui font qu'on a du mal à retirer quoi que ce soit des grandes conférences internationales.

Peu après sa fondation, la SCEIO a entrepris de publier un bulletin qui a paru annuellement durant plusieurs années, puis plus fréquemment après 1979, pour devenir par la suite la revue trimestrielle sur papier glacé qu'on connaît depuis le milieu des années quatre-vingts. La SCEIO parraine la revue *Computational Intelligence*, publiée par le Conseil national de recherche du Canada. Elle a aussi dirigé des ateliers et parrainé de nombreuses conférences nationales et internationales. À des fins administratives, la société est maintenant affiliée à l'Association canadienne de l'informatique. Depuis ses modestes débuts universitaires, la société s'est agrandie et compte maintenant sept cents membres des universités, de l'industrie et du gouvernement, et s'est taillé une réputation internationale à titre de représentant de l'IA au Canada.

Le projet ICRA

Au milieu des années quatre-vingts, l'Institut canadien des recherches avancées (ICRA) a été fondé pour promouvoir la recherche avancée à long terme au Canada, par le financement de réseaux composés de chercheurs d'universités canadiennes de réputation internationale. Les chercheurs soutenus financièrement par l'ICRA restent à leur université, mais sont entièrement payés par l'Institut pendant cinq ans. Ils sont libérés de la majorité de leurs charges de cours et peuvent ainsi se consacrer à la recherche. Les réunions de projet régulières et les communications par réseau électronique favorisent la synergie entre les membres de l'ICRA.

Le premier projet financé par l'ICRA, appelé IA, robotique et société (IARS), constitue un témoignage, non seulement de l'importance de l'IA au Canada et intéressantes questions de recherche à long terme auxquelles elle s'attaque, mais aussi de la qualité de la recherche universitaire canadienne sur l'IA. Le projet IARS a été entrepris par les chercheurs de trois centres : UBC, Toronto et McGill. Il a pris de l'expansion depuis et a recruté des membres associés et des chercheurs d'autres universités. Le projet a maintenant terminé la moitié de son second mandat de cinq ans. Le projet ICRA est décrit en plus amples détails dans une autre section de ce rapport du CAIA.

Le projet IRIS

L'un des 14 projets financés par le programme de réseaux des centres d'excellence du gouvernement canadien est le projet IRIS. Il s'agit d'un groupe important de chercheurs sur l'IA travaillant dans un grand nombre d'universités canadiennes, mais communiquant entre eux. Mettant surtout l'accent

sur la vision artificielle, la robotique et les systèmes à base de connaissances, ce projet de quatre ans devrait verser quelque 23,8 millions de dollars aux programmes de recherche en IA de nombreuses universités canadiennes. La concurrence entre les réseaux a été acharnée, et il a fallu dépouiller plusieurs centaines de demandes avant de choisir les 14 qui réunissaient un potentiel élevé et une envergure mondiale. Le fait qu'un de ces 14 projets vise particulièrement l'intelligence artificielle témoigne de l'excellence des universités canadiennes en matière d'IA.

Réussites internationales

Les chercheurs canadiens exercent une influence considérable sur la scène mondiale de l'IA. Un grand nombre de diplômés des universités canadiennes travaillent dans des universités, des laboratoires de recherche et des entreprises aux États-Unis et outre-mer. Les Canadiens ont reçu des honneurs sur la scène internationale de l'IA, y compris le prix de la meilleure présentation, à l'occasion d'importantes conférences. Il est particulièrement significatif que le prix Computer and Thought pour le jeune chercheur le plus remarquable, décerné tous les deux ans à la Conférence internationale conjointe sur l'IA, soit allé au moins trois fois à des titulaires d'au moins un diplôme d'une université canadienne (Hector Levesque, B.Sc., M.Sc et Ph.D. de l'Université de Toronto; Johann deKleer, B.Sc de UBC et Henry Kautz, né aux États-Unis et titulaire d'un M.Sc. de l'Université de Toronto). Les normes universitaires canadiennes sont élevées; en fait, les Canadiens ont obtenu le taux d'acceptation le plus élevé de toutes les délégations nationales à la CCIIA de l'an dernier à Détroit. Les universitaires canadiens font partie de nombreux comités internationaux sur les programmes, sont présents dans les bureaux de rédaction des principales publications sur l'IA, sont fréquemment invités comme orateurs à des conférences internationales et à des ateliers, et sont souvent consultés aux niveaux national et international.

Quelques études de cas

Les descriptions de quelques initiatives de recherche universitaire sur l'IA suivent cet article.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Gord McCalla
ARIES Laboratory
Department of Computational Science
University of Saskatchewan
Saskatoon (Saskatchewan)
S7N 0W0

Nick Cercone
Centre for Systems Science
Simon Fraser University
Burnaby (Columbie-Britannique)
V5A 1S6

Recherches en cognitique à l'Université de Calgary[1]

Par Ian Witten et Brian Gaines[2]

Vers la fin des années soixante, le département d'informatique de l'Université de Calgary a joué un rôle considérable dans le domaine de la recherche sur l'interaction opérateur–machine; au cours des 5 à 10 dernières années, l'intérêt pour les sujets et les méthodes de l'IA a fortement augmenté. Cette tendance s'est encore renforcée par la création en 1985 du Knowledge Science Institute (KSI), dont les objectifs sont l'étude de la cognitique, de sa technologie, de son économie et de ses incidences sociales, et la promotion de la recherche interdisciplinaire sur les systèmes à base de connaissances. Ces activités comprennent la recherche des locaux, l'achat de l'équipement essentiel, la mobilisation des fonds de fonctionnement, l'engagement de professeurs et le recrutement du personnel de recherche.

Le KSI fonctionne comme un réseau de groupes de recherche multidisciplinaires englobant plusieurs facultés et disciplines universitaires. Cette vue d'ensemble se concentre cependant sur la recherche en cognitique entreprise par les professeurs de la faculté d'informatique, ou en étroite collaboration avec eux. Ces travaux portent sur les domaines de l'acquisition des connaissances pour les systèmes experts, l'apprentissage automatique et la programmation par l'exemple, la théorie et l'organisation de systèmes (en particulier la modélisation et la prédiction) et la programmation logique. Toutefois, certains projets se confondent et se chevauchent; en pratique, aucune distinction réelle n'existe entre ceux qui examinent les techniques de l'intelligence artificielle et les autres. La recherche dans les domaines connexes de l'informatique, tels que l'interaction opérateur–machine, les systèmes répartis ou les méthodes structurées de vérification des logiciels et du matériel, n'est pas décrite par ce document.

Recherche en génie des connaissances

Un modèle du développement de l'industrie informatique a été mis au point et utilisé pour expliquer les événements passés et prédire les tendances à venir, particulièrement les priorités de cinquième et de sixième génération. L'industrie est née de la technologie des appareils électroniques, permettant ainsi à la société de s'adapter à un monde de plus en plus complexe. Toutes les percées réalisées en informatique sont attribuables à une succession en paliers de courbes d'apprentissage qui forment l'infrastructure de l'industrie informatique. Ce modèle fournit un schéma de l'industrie fondé sur cette progression logique de développements. Il relie de façon empirique ce schéma aux événements importants du développement de l'informatique. Il crée un lien théorique entre ce schéma et un modèle de développement économique, social, scientifique et individuel, les considérant comme des processus d'apprentissage apparentés basés sur un simple modèle phénoménologique. Le programme de développement de cinquième génération, qui met l'accent sur l'interface opérateur–machine et l'intelligence artificielle, ainsi que le programme de sixième génération, qui se concentre sur la cognitique, procèdent naturellement des sujets de recherche indiqués par le modèle [9, 10]. Le génie des connaissances constitue une technologie essentielle de ce modèle et une pierre angulaire de nos activités.

Prototypage rapide

Nous mettons actuellement au point des techniques d'acquisition des connaissances pour le prototypage rapide de systèmes à base de connaissances [14, 15, 16]. Les problèmes reliés au génie des connaissances sont reconnus depuis le début des systèmes experts; ils entravent le développement d'applications pratiques. Il est difficile d'obtenir des experts la structure des connaissances qui sont à la base de leur compétence. On s'est donc intéressé davantage à la possibilité de créer des systèmes de soutien des connaissance capables d'automatiser le génie des connaissances en tant que processus d'interaction directe entre les experts de chaque domaine et l'ordinateur [6, 8]. En 1980, nous avons proposé que la psychologie des constructions personnelles pourrait fournir le modèle de base des systèmes experts, particulièrement dans les systèmes qui combinent l'interactivité, l'accès aux bases de données et l'avis d'experts pour le soutien de décision; nous avons aussi cité des exemples d'algorithmes et de programmes ayant tiré des règles de conséquence logique des données de grille des répertoires. En 1983, nous avons présenté d'autres améliorations à ces techniques, ainsi qu'une expérience préliminaire de validation empirique en tant que technique de génie des connaissances pour l'amorçage des systèmes experts.

[1] Réimprimé avec l'autorisation d'*Intelligence artificielle au Canada*, oct.: 25–30, 1988.

[2] Ian Witten et Brian Gaines sont professeurs à l'Université de Calgary. Brian Gaines est le fondateur et le directeur de KSI.

Ce travail a débouché sur des études industrielles de la méthodologie appliquée au développement des systèmes experts : Boeing Computer Services et Lockheed Software Technology Center ont obtenu du succès dans ces applications; son bien-fondé a été reconnu dans un domaine statistique.

La recherche sur l'acquisition des connaissances porte essentiellement sur l'utilisation de techniques fondées sur la psychologie des constructions personnelles pour automatiser le génie des connaissances nécessaire aux systèmes experts. Les systèmes de soutien des connaissances sont en cours de développement en tant qu'outils interactifs du génie des connaissances; les critères de conception de tels systèmes sont en voie d'être clairement définis. KITTEN est un système de soutien des connaissances développé pour les postes de travail en IA, incluant les outils de découverte et d'analyse de conséquence logique de la grille de répertoires interactifs, largement utilisés pour le prototypage rapide des systèmes experts industriels. Il comprend aussi des outils d'analyse de textes, d'analyse du comportement et d'analyse de schémas offrant des approches de rechange ou complémentaires à l'acquisition des connaissances. L'implémentation de KITTEN intègre ces outils à une base de données commune et à des utilitaires conçus pour donner des perspectives multiples de la base de connaissances [17, 18].

Une grande panoplie d'outils développés ailleurs, dont AutoIntelligence, ETS, KSSO et Nexpert sont également à l'étude; des études de validité sont également entreprises sur le rendement de tels outils dans la découverte et la structuration des connaissances de l'expert.

Entraînement sportif hypermédia à base de connaissances

Dans le laboratoire de cognitique et de science neuro-motrice de la faculté d'éducation physique, des études ont été entreprises sur des systèmes d'entraînement sportif à base de connaissances et sur les bases cognitives du transfert des connaissances [19]. La recherche porte sur la découverte, la compréhension et l'application des structures de connaissance qui sont la base des capacités de rendement des sportifs et des compétences d'entraînement de leurs sélectionneurs et instructeurs. Les structures abstraites des connaissances de l'entraînement sportif ont été développées indépendamment des sports eux-mêmes. Elles ont permis l'analyse significative d'un grand nombre de sports, débouchant sur la création de stratégies d'entraînement et d'acquisition de techniques sportives par l'individu; elles se sont également averées utiles et compréhensibles tant pour l'entraîneur que pour les joueurs. Ces structures de connaissances sont appliquées par différents moyens, dont les livres et les systèmes informatiques hypermédia [20].

La nouvelle série de livres *Steps to Success*, de Human Kinetics Publishers, est basée sur l'usage explicite de ces structures; elle est offerte sous forme de manuels pour les athlètes et les entraîneurs. Les premiers ouvrages portent sur 10 sports, dont le tir à l'arc, le badminton, le basketball, le golf, la gymnastique, le tennis et la natation. Dans le laboratoire de recherche, toute une gamme de systèmes hypermédia fondés sur les structures des connaissances sont en cours de développement, dont un système expert pour le hockey qui a été mis en démonstration aux Jeux olympiques d'hiver de 1988. Fonctionnant sur Macintosh, ce système utilise l'acquisition de connaissances spécialisées, un vidéodisque et un logiciel de commande de CD-ROM. Le film du vidéodisque a été tourné durant des parties internationales et des séances d'entraînement préparatoires.

Le processus de la connaissance dans la société, la fabrication et l'interaction opérateur–machine

De nombreuses études de base ont été entreprises sur la manière dont les connaissances se répandent dans une société par toute une gamme de processus sociaux et psychologiques [5, 7]. Les résultats de ces études ont une influence directe sur la conception de systèmes experts visant à soutenir la formation des connaissances techniques et à éliminer les problèmes de responsabilité civile. Les processus de connaissances liés à la fabrication ont été étudiés et modélisés dans le cadre du développement de systèmes experts de fabrication intégrée par ordinateur. Les structures des connaissances à la base de l'interaction opérateur–machine ont aussi été étudiées en profondeur dans le cadre du développement des systèmes de gestion d'interfaces d'utilisateur à base de connaissances. Des perfectionnements dans plusieurs disciplines ont été rendus possibles par le développement de structures évidentes de connaissance rassemblées dans des bases de connaissances partagées auxquelles ont accès des groupes et des communautés scientifiques et technologiques. Notre travail dans ce domaine se concentre maintenant

sur le soutien informatique de la recherche par concertation, l'intégration de systèmes hétérogènes à base de connaissances et l'utilisation de bases de connaissances orientées objet visant à soutenir les processus de pensée créative.

Ateliers d'acquisition de connaissances

Le KSI a consacré beaucoup d'efforts à l'organisation d'une série d'ateliers sur l'acquisition de connaissances pour les systèmes à base de connaissances, auxquels ont participé des chercheurs du monde entier. Trois de ces ateliers tenus à Banff, étaient parrainés par l'American Association for Artificial Intelligence (AAAI) et coprésidés par John Boose, du Boeing Advanced Technology Center, et par Brian Gaines, du KSI. Pour le premier atelier, en novembre 1986, on se proposait simplement d'organiser une rencontre de discussions intensives réunissant quelque 35 chercheurs très actifs dans ce domaine. En fait, plus de 120 articles ont été soumis, quelque 500 demandes d'accréditation ont été reçues d'environ 30 pays. Un tel intérêt a suscité l'organisation d'un autre atelier de l'AAAI à Banff en octobre 1987 et d'un troisième en novembre 1988. D'autres organismes ont également mis sur pied des ateliers de ce genre, notamment l'IEEE en Angleterre en septembre 1987, et ACM (Allemagne) en juin 1988. À St. Paul, en août 1988, un atelier de moindre durée organisé par l'AAAI mettait l'accent sur les problèmes d'intégration. D'autres ateliers d'acquisition des connaissances sont déjà prévus à Paris, Amsterdam, Tokyo et Banff, en 1989 et 1990. Ces ateliers ont exercé une influence considérable sur les publications sur l'acquisition des connaissances et ont donné lieu jusqu'ici à quelque 60 articles de journaux et à trois livres; les discussions qu'ils ont engendrées ont stimulé la recherche mondiale sur l'acquisition des connaissances.

Programme de formation en génie des connaissances

Un programme intensif de formation d'un an a été mis au point pour les spécialistes en génie des connaissances. Financé par une subvention d'Emploi et Immigration Canada, ce programme a été présenté à 11 diplômés professionnels, d'avril 1987 à mars 1988. Ces étudiants, dont les diplômes portent sur des matières aussi diverses que l'informatique et la psychologie, ont aussi été employés comme adjoints à la recherche pour de nombreux projets. Les cours concernaient le génie des connaissances, la conception tutorielle, le matériel informatique et les télécommunications, le développement de logiciel et les systèmes logiciels évolués, le développement de vidéodisques et le rendement humain.

Le programme de formation a suscité un vif intérêt dans l'industrie; il est probable que le matériel sera largement diffusé et utilisé pour des programmes de formation interne et des cours de brève durée. Des dispositions ont été prises pour renouveler le programme cette année.

Recherche sur l'apprentissage automatique et la programmation par l'exemple

Un grand intérêt pour la recherche en apprentissage automatique est né des cendres des systèmes de commande adaptatifs en génie (certains d'entre nous ont un passé chargé). Le phénomène de l'adaptativité joue un rôle important dans notre travail, ou comme l'intérêt que nous portons aux interfaces humaines et à la communication de l'information entre l'homme et la machine. Ainsi, nous nous intéressons autant à l'enseignement qu'à l'apprentissage, et nous voulons mettre à la disposition des utilisateurs occasionnels un environnement propice à la transmission de leur connaissance et de leur savoir-faire.

Programmation robotique par l'exemple

Des études sont en cours pour améliorer la communication des exigences humaines aux systèmes robotiques. L'objectif est de permettre à un spécialiste d'une tâche courante de l'enseigner à un système commandé par ordinateur, sans pour cela être expert en informatique. Les systèmes informatiques actuels, comme les robots et les systèmes de bureautique, sont difficiles à éduquer et à adapter. Il n'est pas aisé de traduire la technique de son travail en procédés explicites pour un système robotique, bureautique ou autre. La recherche vise à permettre aux non-programmeurs de définir des marches à suivre, sans devoir procéder à cette traduction.

Nous avons fait l'acquisition d'un bras articulé de grande précision pour l'étude des capacités d'apprentissage des robots. Au début, le robot sera utilisé pour la recherche de techniques par lesquelles les non-programmeurs peuvent définir des tâches pour les robots affectés à la distribution des médicaments dans les hôpitaux. Ces techniques seront mises à l'essai à titre d'élément du système robotique de distribution de médicaments du Calgary Foothills Hospital. Le système choisira les doses de médicaments et les placera dans les plateaux individuels des patients. Pour une petite application de ce genre, le pharmacien lui-même devra

pouvoir établir les tâches de distribution et modifier la prestation du robot.

Un certain nombre de systèmes actuels de programmation par l'exemple ont été étudiés et reconstruits en laboratoire. Un projet du MIT pour créer des programmes robotiques par l'exemple a été réétudié. De nombreuses lacunes dans la recherche originale, qui portait sur l'apprentissage des transformés d'objets par un positionnement manuel du bras par l'utilisateur, ont été corrigées. Un programme partiel laisse dans le vague ces transformés, qui ne peuvent être réalisés à partir des données standards de CAO pour une tâche; l'utilisateur peut démontrer facilement les mouvements exigés au moment de l'exécution. En outre, l'utilisation de quaternions est envisagée comme une représentation compacte indépendante et coordonnée des rotations du bras du robot, capable d'induire des relations fonctionnelles dans des tâches composées de mouvements en ligne droite.

Programmation par l'exemple dans l'interface humaine

L'interface de l'utilisateur offre une multitude de possibilités, actuellement à l'étude, de programmer par l'exemple. Plutôt que de se concentrer uniquement sur les méthodes techniques d'induction de programmes par l'exemple, entreprise devenue improductive au milieu des années quatre-vingts une fois l'enthousiasme du début refroidi, cette recherche insiste sur le rôle capital de l'interaction dans la clarification des intentions de l'utilisateur. Nous avons étudié l'acquisition des connaissances sur les procédures, c'est-à-dire du savoir-faire, de l'utilisateur final, dans le domaine des graphiques interactifs. Les experts expriment les procédures de façon constructive, utilisant tous les outils disponibles dans le plan de l'environnement interactif, et les procédures bien structurées sont estimées par une variété d'heuristiques de généralisation faible. Un deuxième domaine d'application en cours d'examen est celui de l'interaction de l'utilisateur occasionnel avec les systèmes bureautiques; on utilise pour cela une image de commis de bureau automatisé. Un troisième projet porte sur l'édition de textes. Un autre exemple de ce genre de travail est le «clavier réactif», inventé il y a quelques années à l'Université de Calgary pour aider les handicapés dans l'interaction textuelle avec les ordinateurs.

Un thème central de ces travaux est l'importance du point de vue du professeur sur l'étudiant et ses capacités. Professeur et étudiant partagent un monde commun et ont la même capacité d'action, des «chances égales». En exécutant fidèlement les actions prévues (que le professeur peut annuler au besoin), l'étudiant encourage le professeur à créer des conditions aptes à le satisfaire et rend explicites les conditions justifiant ses actions. En cas d'imprécision, les cases de dialogue permettent au professeur de définir ses intentions.

Apprentissage machine

Un grand nombre d'autres sujets techniques de l'apprentissage machine sont examinés. Notre méthode consiste en premier lieu à reconstruire des systèmes d'apprentissage influents développés ailleurs. Nous avons reconstruit des versions connues de systèmes spatiaux, de systèmes générateurs d'exemples, d'acquisition de concepts statistiques, d'algorithmes d'apprentissage basés sur le diagnostic, de planificateurs, du système d'apprentissage exploratoire AM et de nombreux plans d'induction de fonction. Nous avons ainsi appris des leçons importantes et construit un tremplin pour développer nos idées personnelles [13, 25].

Les méthodes de création de descriptions structurales à partir d'exemples exigent qu'on examine une énorme quantité de descriptions structurales possibles et qu'on vérifie leur correspondance avec les exemples entrants. Des méthodes efficaces de représentation de ces structures en fonction de leurs limites sont actuellement à l'étude; elles sont approfondies pour le traitement des ensembles de descriptions infinis (qui se produisent souvent dans la pratique). Des méthodes de construction automatique d'exemples déterminants, discriminant efficacement entre des hypothèses opposées, sont également à l'étude. Des lacunes ont été découvertes dans les systèmes existants de génération d'exemples (en particulier, les exemples générés peuvent ne pas être assez généraux); elles ont été corrigées dans un nouveau programme.

L'apprentissage par recherche d'explications est un paradigme savant, à base sémantique, pour l'apprentissage machine qui contraste nettement avec les approches syntaxiques ou «fondées sur les ressemblances» mentionnées plus haut. La technique par recherche d'explications a été redéveloppée dans une optique de résolution de problèmes, et des études ont été faites sur la façon d'intégrer une capacité d'apprentissage aux moteurs d'inférences ordinaires. Les travaux s'étendent actuellement au domaine de la planification d'agents simples ou multiples. Nous rejetons la

tendance actuelle qui consiste à isoler l'apprentissage des autres activités pour l'étudier à part; nous préférons l'intégrer au centre même de la résolution des problèmes [12].

L'induction de fonctions vise à synthétiser une relation fonctionnelle en partant d'exemples d'entrée et de sortie. Les données peuvent être structurées et contenir des éléments numériques et non numériques. Les fonctions primitives sont fournies au système, ainsi que les constantes connues pouvant être utilisées par celles-ci. Nous étudions de nombreux algorithmes différents d'induction de fonctions pour comparer leur rendement en théorie et en pratique.

Recherche sur la théorie et l'organisation de systèmes

Notre vif intérêt pour l'adaptation, dont nous avons déjà parlé, se manifeste à un niveau inférieur de l'échelle phylogénétique de l'intelligence artificielle par la recherche sur la modélisation, la prédiction et la compression de texte. La présentation et la gestion de l'incertitude est un autre sujet que partage de nombreux projets. De plus, l'intérêt que nous portons aux systèmes autonomes et parallèles influence beaucoup notre travail.

Compression de texte

Pour compléter le travail structural sur l'apprentissage machine, nous avons entrepris depuis longtemps un effort de recherche intensif sur l'analyse et la compression adaptatives de textes; cet effort est né d'un travail précédent sur la modélisation adaptative. Une méthode de compression de texte a été mise au point à l'Université de Calgary en 1982–1983; elle surpasse toutes les techniques connues, dont la plupart par une marge considérable. Elle condense ordinairement 2,2 octets par caractère anglais (majuscules et minuscules); dans une récente compétition en Australie sur les programmes de compression, les deux gagnants ex aequo ont utilisé des variantes de notre méthode. Une multitude de techniques de compression a été étudiée; des rapports auparavant insoupçonnables ont été trouvés entre elles. Les deux techniques dominantes de codage adaptatif sont les méthodes statistique et macro; elles ont été comparées et raccordées. Qui plus est, une gamme très étendue de méthodes de compression précédemment décrites a été implémentée, mise à l'essai et évaluée [24, 1].

Une compression efficace demande un texte prédictif; des études ont été effectuées sur l'application de méthodes prédictives à des domaines variés de l'interface opérateur–machine et de l'apprentissage machine; ces activités sont liées à la recherche sur la programmation par l'exemple mentionnée plus haut [23].

Modélisation des données incertaines

Comme nos systèmes cernent toujours de plus près le monde réel, la gestion de l'incertitude des données devient de plus en plus importante. Le prototypage rapide des systèmes experts exigeait des relations d'inférence de données incertaines ou «floues»; le système KITTEN, mentionné précédemment, contient un nouveau mécanisme pour traiter les inférences floues [11]. Dans le domaine de l'apprentissage machine, on s'emploie à résoudre les problèmes de création de systèmes d'apprentissage aptes à corriger les erreurs; il est peu probable qu'ils trouvent beaucoup d'applications pratiques tant qu'ils ne seront pas assez robustes pour répondre aux inéluctables imprévus des situations réelles.

Le travail théorique sur la gestion de l'incertitude inclut un nouveau canevas unificateur qui englobe la logique des probabilités et la logique floue, ainsi que la logique binaire classique et certains cas particuliers d'une logique générale standard de l'«incertitude» basée sur l'évaluation du canevas. Un autre projet étudie le problème de l'acquisition de règles incertaines à partir d'exemples relevant d'une logique ternaire sous l'autorité de la programmation logique [2]. Une base théorique ferme de programmation en logique ternaire a été établie, incluant un sous-ensemble des clauses de Horn, l'interprétation de procédures, une extension de l'univers standard d'Herbrand et de la sémantique du point le moins fixe, ainsi qu'une preuve de l'exactitude de la résolution SLD. Enfin, on a envisagé l'utilisation du procédé stochastique dans les réseaux neuronaux comme base de représentation de l'inférence incertaine.

Systèmes autonomes

Il semble que dans l'avenir de nombreux systèmes automatisés seront autonomes; pourtant, peu de progrès ont été réalisés dans ce sens. Nous considérons le phénomène de l'autonomie sous trois angles [21]. Tout d'abord, nous envisageons l'autonomie sous forme d'auto-direction et d'automotivation. De ce point de vue, la recherche en IA porte sur la représentation et l'usage d'objectifs, ainsi que de comptes rendus philosophiques, physiologiques et psychologiques sur la motivation et le comportement de poursuite d'objectifs.

En deuxième lieu, nous examinons l'indépendance biologique des organismes capables de maintenir leur propre organisation dans un environnement instable. Troisièmement nous étudions la construction de systèmes capables d'apprendre et d'exécuter des instructions de manière autonome, quoique sans auto-motivation.

Le travail sur l'auto-motivation est relié à la recherche en apprentissage machine relatée plus haut, en particulier la reconstruction de l'AM. Les exemples les plus concrets de systèmes artificiellement autonomes du second type sont des variations de logiciels «divergents» : vers et virus; nous avons réalisé des expériences et entrepris des études approfondies sur ces phénomènes [22]. Le troisième type inclut les systèmes de programmation par l'exemple, où l'interface de l'utilisateur donne à l'apprentissage une autonomie d'apparence humaine.

Architectures par connexions

Le renouveau d'intérêt pour les systèmes de traitement pseudo-neuronaux a stimulé une réévaluation de paradigmes plus anciens sur l'organisation de système en termes d'architecture à parallélisme extrêmement élevé. Ainsi, nous avons démontré comment des systèmes pseudo-neuronaux peuvent être reliés à d'autres formulations de calcul bien connues, telles que les systèmes de production, les automates à intervention limitée, les processus de décision de Markov et les machines de Turing. Nous avons étudié la façon dont de nouveaux plans de représentation de l'information, tels que la représentation stochastique, sont admirablement adaptés au parallélisme extrêmement élevé; les avantages de cette approche sont à la fois théoriques et pratiques. Nous avons procédé à une étude théorique et empirique détaillée de la machine de Boltzmann du point de vue stochastique, markovien et bayésien. Nous avons conçu une nouvelle architecture d'intégration à très grande échelle qui sert de base aux systèmes par connexions; nous avons démontré la façon de l'utiliser pour s'attaquer à des problèmes apparemment séquentiels comme les jeux de dames et d'échecs.

Recherche en programmation logique

Une partie importante de la recherche porte sur la programmation logique; des études théoriques et pratiques de programmation logique ont été entreprises. (Toutefois, nous avons des goûts éclectiques en matière de langage et nos implémentations sont basées sur Prolog, LISP «surtout Scheme» et Smalltalk, dans des proportions à peu près égales).

Arithmétique logique

Dans le passé, les implémentations d'arithmétique réelle dans la programmation logique n'étaient pas logiques. C'est une lacune fondamentale qui s'affaiblit sérieusement le paradigme logique. Le sens des programmes dépend de l'ordre d'exécution des énoncés et des détails du traitement par l'ordinateur des chiffres de précision limitée. Nous avons découvert comment créer une interprétation purement logique de l'arithmétique en utilisant l'arithmétique des intervalles comme représentation de base [3]. On peut alors passer à une implémentation en Prolog et engager une redéfinition des capacités arithmétiques de ce langage dans l'utilisation des intervalles pour représenter des chiffres. Tout comme une base logique solide, le système qui en résulte permet un style de programmation très concis et puissant, qui peut s'avérer très efficace.

Prolog parallèle par la dislocation temporelle

La recherche actuelle sur le parallélisme en programmation logique se concentre sur le parallélisme ET, dans lequel les objectifs d'une conjonction sont atteints en même temps (l'alternative étant le parallélisme OU, qui explore différentes façons d'atteindre un objectif en parallèle). Le problème le plus difficile dans l'implémentation d'un système parallèle ET distribué est de résoudre des liages incompatibles de variables. Notre plan utilise la notion de «dislocation temporelle», un procédé d'abord proposé pour implémenter le paradigme du temps virtuel dans une simulation répartie, pour résoudre ce problème. En résumé, les liages sont marqués dans le temps, et les incompatibilités sont résolues en comparant ces marques.

Les implémentations parallèles ET n'utilisant pas l'approche du temps virtuel réduisent le choix de parallélismes disponibles, ou adoptent une stratégie de «choix forcé», sacrifiant le non-déterminisme intégral du Prolog standard. Par contre, notre implémentation préserve la sémantique du Prolog séquentiel tout en permettant un maximum de parallélisme. Deux raisons motivent ce choix : d'abord, dans plusieurs cas, le non-déterminisme est indispensable; ensuite, le fait de demeurer entièrement compatible avec le Prolog séquentiel permet l'exportation directe des programmes. Des variantes de ce plan, qui soutiennent des programmes sans fin et fournissent un retour arrière intelligent dans un système séquentiel, sont aussi envisagées. Une autre possibilité à l'étude est l'adaptation de Prolog en simulation répartie.

Cette adaptation est aussi basée sur la dislocation temporelle, mais exige une expression explicite du parallélisme et de la communication entre les procédures.

Environnements de programmation Prolog

Nous portons aussi un intérêt pratique à la construction d'environnements de programmation pour Prolog. Nous avons construit des interfaces interactives pour l'éditeur de texte EMACS, qui affiche graphiquement les informations de dépannage [4], un programme utilitaire similaire à LINT, qui vérifie la cohérence interne des programmes Prolog, un logiciel de bibliothèque permettant la construction facile de programmes multimodulaires, aussi que des aides à la documentation et à la composition dans le style de la «programmation fine» de Knuth; nous faisons également des recherches sur les applications pratiques de plans d'inférence type. Nous avons aussi mis au point un certain nombre d'interprètes Prolog.

Installations

Le département d'informatique en général, et le Knowledge Science Institute en particulier, sont bien équipés pour la recherche. Les principaux outils départementaux sont des systèmes Sun-4 utilisant Unix (il y a aussi un biprocesseur VAX-780, une pièce de musée). Nous disposons d'un certain nombre de postes de travail à haut rendement (les machines Symbolics et Xerox LISP pour l'IA, IRIS pour les graphiques), et de nombreux postes de travail Sun d'usage général. Un réseau de postes de travail Apollo est utilisé par le KSI, ainsi qu'un bras articulé et l'assortiment habituel de Macintosh et d'IBM. Un BBN Butterfly sert pour les algorithmes parallèles. Nous avons accès au matériel de repérage du mouvement oculaire, adapté sur casque, de la faculté d'éducation physique. L'université possède un super-ordinateur (Cyber 205) et supporte un vaste système Honeywell Multics.

Les ressources logicielles comprennent des implémentations de Prolog, Scheme et Smalltalk sur la plupart des machines (avec, pour plusieurs chercheurs, un MacIntosh à domicile). Le noyau de système expert NEXPERT est utilisé pour le prototypage et le développement des systèmes experts. Des éléments importants de notre environnement de support incluent Gnu, EMACS, TeX et le courrier électronique. Presque tous les ordinateurs sont en réseau avec des liaisons rapides (10 Moctets/s). À l'été de 1988, la plupart des grands projets départementaux de recherche, incluant l'IA, s'installeront dans des locaux récemment mis à notre disposition et modifiés pour répondre à nos besoins, qui utiliseront à fond le réseau et d'autres installations de communication.

Chercheurs

La faculté d'informatique engagée dans cette recherche compte dans ses rangs John Cleary, Brian Gaines (fondateur et directeur du KSI), Paul Kwok, Bruce MacDonald, Mildred Shaw et Ian Witten. Les professeurs d'autres départements associés au KSI sont Bruce Clark, Institute for Computer-Assisted Learning; Larry Katz, département d'éducation physique; Doug Norrie, département du génie mécanique et Joan Vickers, département d'éducation physique. Parmi les visiteurs importants qui ont récemment passé de longues périodes au KSI, citons John Andreae, University of Canterbury, Nouvelle-Zélande; Tim Bell, University of Canterbury, Nouvelle-Zélande; Harold Thimbleby, University of York, Royaume-Uni et Brian Woodward, Knowledge Science Institute.

Références

1. Bell, T.C., Cleary, J.G. et Witten, I.H. *Text Compression*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, à l'impression.

2. Cleary, J.G., «Acquisition of uncertain rules in a probabilistic logic», *International Journal of Man–Machine Studies*, 27(2), 1987, pp. 145–154.

3. Cleary, J.G., «Logical Arithmetic», *Future Computing Systems*, 2(2), 1987, pp. 125–149.

4. Dewar, A. et Cleary, J.G., «Graphical display of complex information within a Prolog debugger», *International Journal of Man–Machine Studies*, 25(5), 1986, pp. 503–521.

5. Gaines, B.R., «Foundations of knowledge engineering», *Research and Development in Expert Systems III*, Bramer, M.A. (éditeur), University Press, Cambridge, 1986, pp. 13–24.

6. Gaines, B.R., «An overview of knowledge acquisition and transfer», *International Journal of Man–Machine Studies*, 26(4), 1987, pp. 453–472.

7. Gaines, B.R., «A conceptual framework for person–computer interaction in distributed systems», *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, à l'impression.

8. Gaines, B.R., «Knowledge acquisition systems for rapid prototyping of expert systems», INFOR, à l'impression.

9. Gaines, B.R. et Shaw, M.L.G., «From timesharing to the sixth generation : the development of human–computer interaction part I», *International Journal of Man–Machine Studies*, 1(1), 1986, pp. 1–27.

10. Gaines, B.R. et Shaw, M.L.G., «Foundations of dialog engineering : the development of human–computer interaction part II», *International Journal of Man–Machine Studies*, 1(2), 1986, pp. 101–123.

11. Gaines, B.R. et Shaw, M.L.G., «Induction of inference rules for expert systems», *Fuzzy Sets and Systems*, 18(3), 1986, pp. 315–328.

12. Krawchuk, B.J. et Witten, I.H., «Explanation-based learning : its role in problem-solving», *Journal of Experimentel and Theoretical Artificial Intelligence, à l'impression.*

13. MacDonald, B.A. et Witten, I.H., «A framework for knowledge acquisition through techniques of concept learning», *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* (numéro spécial sur le génie des connaissances), à l'impression.

14. Shaw, M.L.G., «Interactive elicitation and exchange of knowledge in group problem solving», *International Journal of Personal Construct Psychology*, 1987.

15. Shaw, M.L.G., «An Interactive knowledge-based system for group problem solving», *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1987.

16. Shaw, M.L.G. et Gaines, B.R., «Interactive elicitation of knowledge from experts», *Future Computing Systems*, 1(2), 1986, pp. 151–190.

17. Shaw, M.L.G. et Gaines, B.R., «Advances in interactive knowledge engineering», *Research and Development in Expert Systems III*, Bramer, M.A. (éditeur), University Press, Cambridge, 1986, pp. 111–122.

18. Shaw, M.L.G. et Gaines, B.R., «KITTEN : Knowledge initiation and transfer tools for experts and novices», *International Journal of Man–Machine Studies*, 27(3), 1987, pp. 251–280.

19. Vickers, J.N., *Instructional Design in Sport and Physical Activity : A Knowledge Structures Approach*, Human Kinetics, Champaign, Illinois, 1987.

20. Vickers, J.N. et Gaines, B.R., «A Comparison of Books and Hypermedia for Knowledge-based Sports Coaching», *Microcomputers for Information Management*, 5(1), 1988, pp. 29–44.

21. Witten, I.H., «In search of 'autonomy'», *Future Computing Systems*, 2(1), 1987, pp. 35–53.

22. Witten, I.H., «Computer (in) security-infiltrating open systems», *Abacus*, 4(4), 1987, pp. 6–25.

23. Witten, I.H. et Cleary, J.G., «Foretelling the future by adaptive modeling», *Abacus*, 3(3), 1986, pp. 16–36.

24. Witten, I.H. Neal, R. et Cleary, J.G., «Arithmetic coding for data compression», *Communications of the Association for Computing Machinery*, 30(6), 1987, pp. 520–540.

25. Witten, I.H. et MacDonald, B.A., «Using concept learning for knowledge acquisition», *International Journal of Man–Machine Studies*, à l'impression.

Les récentes activités sur l'IA de l'Université de Guelph[1]

Par Mary McLeish, Amelia Fong Lochovsky et David K.Y. Chiu[2]

Ce rapport décrit brièvement les activités de trois groupes travaillant dans les domaines reliés à l'intelligence artificielle dans le département d'informatique et des sciences de l'information de l'Université de Guelph. David Chiu expose un projet en analyse de configuration et en intelligence machine. Amelia Fong Lochovsky traite de plusieurs projets en traitement des images. Mary McLeish parle de son travail sur les systèmes de gestion de l'incertitude et de diagnostic médical, ainsi que sur d'autres projets. Le département a récemment institué un programme de M. Sc. (automne 86), qui insiste particulièrement sur les sujets appliqués et interdisciplinaires.

Les algorithmes de traitement des images et de vision artificielle (Lochovsky)

Actuellement, l'attention des chercheurs se concentre sur les architectures parallèles pour application au traitement des images. En particulier, les architectures en pipeline sont devenues «tout à fait pertinentes pour les applications de vision artificielle» telles que les systèmes d'inspection de fabrication [11]. Les algorithmes traditionnels ne profitent pas souvent du parallélisme inhérent au matériel. Récemment, un grand nombre de nouveaux algorithmes importants ont été développés pour des architectures en pipeline [12]. Des articles décrivant divers algorithmes rapides sur les architectures en pipeline ont été publiés, et une méthode permettant d'analyser à la fois les complexités de temps et d'espace pour des algorithmes utilisés sur de telles architectures a été proposée [1, 3, 4, 5, 6]. Une autre recherche dans ce domaine inclut un travail sur les algorithmes d'identification d'éléments [2].

Environnement logiciel de traitement d'images et de reconnaissance des configurations (Lochovsky)

Les systèmes de traitement des images en pipeline sont de plus en plus utilisés dans les systèmes de vision industrielle, en particulier pour l'inspection visuelle de fabrication. Peu de travaux ont été faits sur l'étude des environnements logiciels adaptés au développement rapide de telles machines. On trouve dans le commerce des systèmes de traitement d'images en pipeline d'usage général; ils offrent instantanément un environnement de développement pour de nouvelles applications d'inspection avant la conception de tout équipement spécial. Toutefois, la plupart de ces systèmes de traitement des images ne disposent pas du soutien de programmation nécessaire à un environnement de recherche. Ils proposent des bibliothèques de sous-programmes tout faits, non adaptés au développement de nouveaux algorithmes. Les chercheurs doivent souvent développer ces algorithmes en utilisant un code peu évolué spécifique à la machine utilisée, difficile à corriger et à entretenir.

À l'Université de Guelph, le travail dans ce domaine porte sur la conception d'un environnement en langage de haut niveau offrant des caractéristiques logicielles correspondant aux applications de traitement d'images et aux capacités de l'équipement. L'utilisateur peut donc beaucoup plus facilement programmer une unité puissante et communiquer avec elle. L'abstraction de diverses ressources matérielles, telles que les capacités de mémorisation des images et les branchements de bus, a été étudiée. Un préprocesseur de soutien de l'environnement de programmation de haut niveau et des structures de données abstraites a été mis au point. Ce préprocesseur analyse aussi les tâches de traitement d'images en tant qu'expressions et met au point le réglage de l'équipement et les branchements nécessaires aux opérations multipassage du processeur en pipeline. Un prototype de préprocesseur a été implémenté [7, 8, 9].

Applications (Lochovsky)

Les techniques de traitement d'images et de reconnaissance des configurations ont été appliquées aux images du microscope électronique. Il s'agit d'une recherche conjointe avec Dr G. Harauz, du département de biologie moléculaire et de génétique de l'Université de Guelph. Les techniques et les logiciels (sur le poste de travail graphique IRIS) ont été mis au point pour la détection

[1] Réimprimé avec l'autorisation d'*Intelligence artifielle au Canada*, juillet: 18–22; 1989.

[2] Dr Mary McLeish est professeur associé aux départements d'informatique et des sciences de l'information et de statistiques. Dr Amelia Fong Lochovsky est actuellement professeur associé au département d'informatique et des sciences de l'information à l'Université de Guelph. Dr David Chiu est professeur assistant au département d'informatique et des sciences de l'information à l'Université de Guelph.

automatique des ribosomes. La recherche en cours concerne la détection de ribosomes ayant des caractéristiques spécifiques et la reconnaissance de leurs propriétés aux fins de classification [10].

Analyse des configurations et intelligence machine (Chiu)

Ce projet se concentre sur le développement de techniques d'extraction des informations utiles à partir de données empiriques. Cette étude théorique et méthodique a des applications dans la vie courante; elle utilise des méthodes empruntées aux mathématiques, aux statistiques, à la théorie de l'information, à la reconnaissance des configurations et à l'intelligence artificielle. Le travail porte sur les problèmes en apprentissage inductif, en inférence et en acquisition des connaissances. Nous avons examiné deux problèmes de la vie courante dans cette recherche.

Le premier problème fait appel à l'analyse et à la synthèse de formes de suites moléculaires. Ceci inclut l'identification subséquente de l'attestation et de la structure phylogénétique à des fins de classification et d'inférence. Des suites rRNA et tRNA recueillies dans une banque de données informatique ont été utilisées. Actuellement, nous développons des algorithmes basés sur le modèle de graphe aléatoire incorporant la variation structurale et probabiliste de l'analyse. D'autres approches utilisant un maximum d'entropie et de couverture d'événement ont aussi été évaluées.

Le second problème se rattache au premier, mais il incorpore le facteur temps. Les données historiques sur les tremblements de terre en Chine ont été utilisées pour étudier le phénomène des séismes en vue de prévisions à long terme. À cause de la complexité du phénomène, une théorie générale sur les séismes présentant un modèle d'explication raisonnable n'a pas encore été mis au point. Nous avons adopté l'optique de la reconnaissance des configurations pour évaluer ce phénomène et le modéliser en un système évoluant dans le temps. Nous avons réalisé plusieurs études de faisabilité et recueilli certains résultats préliminaires.

Problèmes théoriques de la gestion de l'incertitude (McLeish)

Ce travail examine un certain nombre d'idées ayant trait à la logique probabiliste formulée par Nils Nilsson. Les documents [16, 18] étudient le raisonnement monotonique dans ce contexte. Ce modèle autorise des vecteurs incompatibles dans le modèle de Nilsson, captant ainsi l'ironie du raisonnement par défaut, où l'on peut être sûr que «tous les oiseaux volent» et que «Titi est un oiseau», mais où la conclusion logique et compatible, soit que «Titi vole», n'est pas nécessairement vraie (ex : si Titi est un pingouin). Plusieurs façons d'incorporer ces vecteurs ont été considérées et les implications relatives à l'entropie maximale et aux solutions de projection sont à l'étude. Des commentaires ont également été faits sur les problèmes de calcul.

Un article subséquent [17] développe une relation entre la théorie de Dempster-Shafer et la logique probabiliste. Dans cette relation, les sous-ensembles de l'ensemble d'aboutissement sur lequel une croyance est évaluée par la théorie de Dempster-Shafer sont reliés à des phrases de la façon suivante : l'espace d'aboutissement devient le groupe d'univers possibles, et ces univers dans lesquels la phrase est vraie forment le sous-ensemble de l'espace d'aboutissement représentant cette phrase. En utilisant la notation matricielle de Nilsson et le vecteur associé de probabilité, le vecteur V, qui représente la probabilité de la véracité des phrases, devient exactement la fonction de croyance Bel de la théorie de Dempster-Shafer. Au lieu des règles habituelles de la théorie de Dempster-Shafer sur la combinaison de la fonction de croyance, les plans de conséquence logique de Nilsson sont utilisés. Différence importante, à présent le vecteur P de probabilité n'est pas dans l'ensemble des systèmes possibles, mais dans son ensemble des puissances. Il est démontré que des résultats significatifs peuvent être obtenus à partir de solutions d'entropie maximale en tous points définies pour les modèles monotoniques et non monotoniques. Les résultats sont comparés avec ceux qu'on aurait obtenus du modèle original de Nilsson et par les règles ordinaires de combinaison de fonctions de croyance de Dempster-Shafer. Dans le cas du modèle de raisonnement non monotonique approprié, les résultats obtenus furent plus réalistes que ceux des articles précédents.

Un travail plus récent examine la réponse à la question posée d'abord plus formellement dans le rapport technique de Stanford, rédigé par Nilsson, sur la logique probabiliste. Deux exemples sont donnés qui utilisent la projection et les méthodes d'entropie maximale dans le calcul d'une valeur spécifique de conséquence logique (sans intervalle).

Dans un cas, les réponses obtenues par les deux méthodes sont les mêmes; dans l'autre, elles diffèrent. Nilsson émet une hypothèse sur ce qui pourrait être du moins en partie, la cause de la différence de cet exemple; il pose le problème de la nature des conditions générales d'égalité. L'article [24] examine ce problème par l'étude d'inverses de matrices généralisés et donne un groupe de solutions au système à contraintes limitées. L'article présente une façon bien définie de contrôler l'égalité des deux approches par la réduction par rangées de la matrice de phrases. Il offre aussi une autre manière de trouver les deux solutions et des exemples supplémentaires.

Rattaché au problème général du raisonnement monotonique, un travail est en cours de soumission au CCIIA de 1989 [15]. Le travail, par Pearl et autres, sur un calcul de probabilités extrêmes, est envisagé selon des contextes différents. La logique probabiliste est utilisée pour sa capacité à traiter des probabilités très petites ou très grandes, en particulier de la façon dont elles se présentent dans la modélisation de raisonnement par défaut. Là encore, il est impossible d'obtenir des résultats définis en logique probabiliste si on utilise seulement les vecteurs compatibles. Si les croyances appropriées sont extrêmes, des résultats obtenus peuvent mener aux réponses désirées pour un raisonnement non monotonique. Dans le problème traditionnel du «pingouin», la probabilité que Titi vole est encore de l'ordre epsilon si Titi est un pingouin, mais la probabilité que tous les oiseaux volent est à l'intérieur d'une valeur d'epsilon égale à un. Les formules correspondantes de Mycin (les plus récentes) sur la combinaison des preuves sont aussi examinées dans leurs valeurs extrêmes; des résultats probants sont basés sur l'utilisation des rapports impairs.

Projet appliqué aux systèmes de diagnostic médical (McLeish)

Ce projet, entrepris en 1987 par des membres du département d'informatique et des sciences de l'information du Collège de médecine vétérinaire de l'Ontario, explore les possibilités d'un système médical expert. L'hôpital du collège utilise depuis plusieurs années un système d'information médicale qui recueille directement les données sur la bactériologie, la pathologie clinique, la parasitologie et la radiologie, souvent générées électroniquement par l'équipement du laboratoire. D'autres informations sur les patients sont aussi mémorisées : l'âge, le sexe, la race, les symptômes, le traitement, le diagnostic et le résultat. Le but du projet était d'utiliser ces données pour aider au diagnostic, et non de développer un système basé surtout sur les opinions d'experts. Une telle approche a été suggérée par les docteurs Patil, Szolovits et Schwarz quand ils ont écrit (*New England Journal of Medicine*, 1987) que les systèmes médicaux récents ont été surtout basés sur l'hypothèse qu'une aptitude d'expert exige d'une certaine façon la simulation du comportement des experts. «Les travaux précédents, recourant au formalisme mathématique (analyse de décision, appariement de modèles, etc.), ont été dans une large mesure abandonnés... .» Ils suggèrent qu'il est temps de joindre l'ancien et le nouveau : «maintenant qu'une grande partie de la communauté en IA s'est tournée vers le raisonnement causal, pathophysiologique, il est devenu évident que certaines stratégies auparavant abandonnées peuvent maintenant jouer un rôle important dans l'amélioration du rendement des nouveaux programmes». Les auteurs reconnaissent la difficulté de cette approche en déclarant qu'«un effort intensif dans la recherche sera nécessaire avant que toutes ces techniques puissent être incorporées en un seul programme».

Nous avons commencé par l'examen de deux domaines prototypes. Le premier concerne la colique chevaline, affection exigeant souvent une opération d'urgence. La décision d'opérer ou non est difficile à prendre, car elle se fonde sur une foule de paramètres. Un diagramme de diagnostic est maintenant utilisé comme guide; les symptômes d'occurrence y figurent sur deux colonnes et sont simplement additionnés pour évaluer l'opportunité de la chirurgie. Un système basé sur ce principe a été implémenté en Q'Nial, mais il donnait souvent des résultats équivoques et son rendement d'ensemble était plutôt médiocre.

On disposait de données sur 253 cas, comprenant 50 paramètres. Les informations obtenues étaient des types suivants : une chirurgie a-t-elle été ou non effectuée, une lésion chirurgicale a-t-elle été trouvée, et quel a été le sort de l'animal (c'est-à-dire s'il a survécu, s'il est mort ou a été euthanasié). Ces données incluent de nombreux types de variables (réelles, discrètes, nominales) et des inconnues. L'analyse discriminante et la régression logistique ont toutes deux identifié certaines variables à mesure subjective comme étant les plus significatives (douleur, ballonnement, etc.); peu d'informations ont été tirées des données de pathologie clinique. Un algorithme d'apprentissage

PLS1 (attribuable à L. Rendell) a trouvé certaines autres variables des données pathologiques, qui se révélèrent des plus prophétiques pour l'information finale : mort/vif. L'algorithme de Quinlan a suscité des difficultés à cause de données manquantes et de types mélangés de données. Toutefois, ces données ont été envoyées en Australie pour être testées sur des versions très récentes de leur méthodologie. L'inférence inductive bayésienne (P. Cheeseman) a produit des groupes intéressants de données, qui furent souvent utiles pour déterminer des cas spéciaux dans lesquels la chirurgie était indiquée, mais peut-être le pronostic final était-il mauvais, et l'euthanasie était-elle la solution la plus pertinente. Les résultats de ces études figurent à [21, 22].

Une autre approche, qui a eu beaucoup de succès, a été entièrement implémentée en deux versions, l'une en Q'Nial et l'autre en C (en conjonction avec Oracle). Elle comporte une série de règles de combinaison de preuves attribuable à I. Good. Les variables continues ont été rendues fondamentalement discrètes par une approche floue. Les cliniciens ont fourni des fonctions d'appartenance, et des coupures appropriées de niveau A ont été obtenues à partir des données; le tout maximise une fonction de vraisemblance. Le plan de combinaison de preuves fournit une probabilité indiquant le niveau à partir duquel la chirurgie est requise.

Comme dans plusieurs plans de probabilité utilisés, on formule de fortes hypothèses en faveur de l'indépendance des variables. Dans une tentative de repérage de certaines des interactions de variables, des méthodes considérant des groupes de symptômes, plutôt que des symptômes individuels, ont été développées. Plusieurs techniques de recherche ont été utilisées pour trouver un ensemble de groupes de symptômes indépendants (par paires) apportant un maximum de preuves relatives au cas étudié. Il s'agit d'un processus complexe, exigeant un bon équilibre entre plusieurs facteurs, dont l'échantillonnage restreint et le calcul des erreurs. Trois méthodes heuristiques différentes ont été comparées; l'une d'elles a été choisie comme la meilleure jusqu'ici, selon le rendement illustré par les graphes de courbes de Roc. Voir les références [23, 26, 13] pour de plus amples détails.

Le prototype tient compte d'environ 75 symptômes (avec les variables continues rendues discrètes), ce qui complique passable-ment le calcul. Il est implémenté sur une machine parallèle Sequent à huit microprocesseurs; des algorithmes parallèles ont été développés et implémentés. La machine a été achetée grâce à une subvention pour l'équipement du CRSNG (le principal enquêteur est M. McLeish). Des subventions spéciales ont été obtenues dans le cadre de concours des Fonds d'excellence par l'entremise de l'Université de Guelph, de même que des bourses de fonctionnement du CRSNG. De nombreuses autres subventions ont été sollicitées entre autres auprès des Réseaux de centres d'excellence (John Mylopolous), et de PRECARN.

Une approche floue a maintenant été implémentée, qui se fonde en partie sur le travail du groupe Adlassnig, en Autriche. Une combinaison de langage C et d'Oracle nous donne une excellente manière d'implémenter une base de données relationnelle floue. Le type de règles de combinaison «sup-min» nécessaires pour combiner des relations floues peut être obtenu avec Oracle, même si dans certains cas l'utilisation du C augmente l'efficacité. De plus amples débats sur les détails de réorganisation de la base de données hiérarchique originale en un modèle relationnel et la construction du modèle relationnel flou se trouvent en [20]. Un dernier article [25] décrit une approche d'architecture à tableau noir pour traiter les divers éléments du système. Une telle représentation semble particulièrement bien convenir à une implémentation parallèle. Le travail sur le sujet de la colique a été conduit avec l'étudiant diplômé Matt Cecile, Dr P. Pascoe de l'OVC et Alex Lopez du CIS.

Un autre domaine, tout nouveau, est maintenant examiné par une étudiante diplômée, Pauline Yao, en collaboration avec Dr T. Stirtzinger, de la faculté des études cliniques. Il concerne la maladie du foie chez les petits animaux. L'approche de Dempster-Shafer est à l'essai, avec cette différence que la fonction habituelle de probabilités de masse est évaluée à partir des données d'une étude. Les avantages qu'elle procure sont semblables à la méthodologie au poids de la preuve, en ce que les opinions d'experts peuvent être utilisées pour modifier les fonctions de croyance résultantes. (La méthodologie précédente est en voie d'être comparée à cette technique). Le domaine de la maladie du foie diffère considérablement de l'autre prototype par un vaste groupe d'aboutissements et un grand ensemble de groupes de symptômes. La taille des ensembles de données disponibles est trop peu importante pour se fier entièrement à la statistique traditionnelle et aux méthodes d'apprentissage automatique. Une implémentation linéaire du code C est utilisée, et

un algorithme parallèle est en cours de conception pour cette méthode normalement exponentielle. Plusieurs nouveaux étudiants diplômés se sont maintenant joints au projet.

Autres projets (McLeish)

Un article paru dernièrement dans *Intelligence artificielle au Canada* décrit le champ plutôt inhabituel d'application examiné par Karl Langton. Il concernait le Marine Mammal Laboratory d'Hawaii, sous la direction de L. Hermann, et étudiait la communication chez les dauphins. Karl amena de nombreux outils d'IA à ce laboratoire, en particulier les facilités d'interface de l'utilisateur. Un système de langage naturel a été développé pour traiter le vocabulaire et la grammaire appris du dauphin. Certains des résultats de ce travail figurent en [19, 14].

William Hunt a développé une représentation des connaissances et un plan d'apprentissage intéressants pour le raisonnement métaphorique. Une approche hiérarchique basée sur un dictionnaire de synonymes est utilisée comme forme primaire de représentation incluant trois unités appelées gestalts, schémas (modélisés en cadres) et concepts (voir les travaux de G. Lakoff). Des méthodes de recherche heuristiques sont utilisées dans le processus de génération. L'ART et le Sun Common LISP ont permis de mettre au point, un programme visant à générer les représentations métaphoriques. Une méthodologie d'essai utilise des sujets humains dans l'acquisition des connaissances de concepts et dans l'évaluation de représentations métaphoriques générées par ordinateur; les résultats ont fait l'objet d'analyses statistiques. La méthodologie peut apprendre à partir de traits saillants des sources de l'objectif; elle est conçue pour les phrases de tous les jours et non pas seulement pour les analogies scientifiques. Par exemple, «les livres sont des coffres au trésor» (objectif : livre, source : coffre au trésor) ou «le vent est un chat».

Mary McLeish est actuellement en congé sabbatique, invitée par Dr D. Spiegelhalter du Medical Research Council de Cambridge (Angleterre). Ses travaux sur l'utilisation des réseaux bayésiens et des graphes dirigés pour les systèmes experts ont été relatés récemment dans un article de fond du JRSS, Series B50, 1988. Les systèmes actuellement utilisés ont été implémentés en LISP par une programmation orientée objet. Un projet est en cours, qui utilise les réseaux bayésiens pour modéliser les effets du temps dans le traitement des effets secondaires des médicaments. Dr Spiegelhalter donnera un cours au CCIIA de 1989 sur l'utilisation des méthodes bayésiennes dans les systèmes experts.

Références

1. Fong Lochovsky, A., «Algorithms and Architectures for a Class of Non-linear Hybrid Filters using Pipeline Architectures», à paraître dans *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1989.

2. Fong Lochovsky, A., «Algorithms for real-time component labeling of images», dans *Image and Vision Computing*, Vol. 6, No. 1, fév. 88, pp. 21–28.

3. Dinstein, I, and Fong Lochovsky, A., «Computing Local Minima and Maxima of Digital Images in Pipeline Image Processing Systems Equipped with Hardware Comparators», *Proceedings of the IEEE*, mars 1988, pp. 286–287.

4. Fong Lochovsky, A., «The Effect of Window Mask Shape on Algorithm Design in Pipeline Architectures», soumis à *VISION INTERFACE '89*, parrainé par la Canadian Image Processing & Pattern Recognition Society, juin 1989.

5. Fong Lochovsky, A., «Parallel algorithms and Implementation of a class of detail-preserving filters using pipeline architectures», à paraître dans *Computer Vision and Shape Recognition*, édité par A. Krzyak, T. Kasvand and C. Suen, publié par World Scientific Publishing Co. Pte Ltd.

6. Fong Lochovsky, A., «Analysis and Comparison of parallel algorithms for image enhancement in computer vision applications», dans *IEEE Computer Society International Computer Science Conference '88 on Artificial Intelligence*, déc. 1988, pp. 473–480.

7. Fong Lochovsky, A., «Implementation Issues of parallel algorithms using pipeline architecture in visual inspection», *Proceedings of Internatinal Assoc. of Pattern Recognition Workshop on Computer Vision*, Tokyo, oct. 1988, pp. 307–310.

8. Fong (Lochovsky), A., «Increasing Software productivity of Pipeline Image processing Architectures in Manufacture Inspection Applications», *Proc. IEEE 1988 International Conference on Systems, Man & Cybernetics*, Beijing, China, août 1988, pp. 1138–1142.

9. Fong Lochovsky, Amelia C., «High level language abstraction in image processing machines», *Proc. of Second International Symposium on Image Processing, Computer Generated Images, Technology and Applications*, ACM-SIGGRAPH & CESTA, Nice (France), avril 1986, Vol. 1, pp. 417–424.

10. Fong Lochovsky, A., et Harauz, G., «Automatic Selection of Ribosomes in Electron Microscopic Images», sera soumis à *Ultramicroscopy*.

11. Sanz, J.L., Dinstein, I., et Petkovic, D., «Computing Multi-colored Polygonals Masks in Pipeline Architectures and its Applications to Automated Visual Inspection», *CACM*, avril 1987, pp. 318–329.

12. Sanz, J.L., et Dinstein, I., «Projection-based Geometrical Feature Extraction for Computer Vision Algorithms : Algorithms in Pipeline Architectures», dans *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, jan. 1987, pp. 160–168.

13. Gburzynski, P., et McLeish, M., «An Efficient Heuristic Algorithm N-space Partitioning», soumis au *SIAM Journal of Computing*.

14. Langton, K., McLeish, M., Herman, L., «Delphi : An Intelligent Interface for a Dolphin Communication Laboratory», soumis au *Second International Conference on Industrial and Eng. Ap. of AI and Expert Systems*.

15. McLeish, M., «Extreme Probabilities and Non-Monotonic Reasoning in the Context of Probabilistic Logic», soumis au *CCIIA en 1989*.

16. McLeish, M., «Probabilistic Logic : Some Comments and Possible Use for Nonmonotonic Reasoning», dans «Uncertainty in Artificial Intelligence», *Machine and Pattern Recognition*, Vol. 5, 1988, pp. 55–63.

17. McLeish, M., «Further Work on Nonmonotonicity in the Framework of Probabilistic Logic with an Extension to Dempster-Shafer Theory», *Machine Intelligence and Pattern Recognition*. (Édité par T. Levitt et L. Kanal).

18. McLeish, M., «Dealing with Uncertainty in Nonmonotonic Reasoning», *Proceedings of the Fourth Annual Conference on Intelligent Systems and Machines*, avril 1986, pp. 1–5.

19. Langton, K., Tarbox, B., Herman, L., McLeish, M., «User Modeling at a Dolphin Language Laboratory», *Proc. of the Fourth Conference on Artificial Intelligence Applications*, San Diego, 1988, pp. 400–404

20. McLeish, M., Cecile, M., et Lopez-Suarez, A., «Database Issues for a Veterinary Medical Expert System», *Proceedings of 4th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, Rome, juin 1988, pp. 33–48.

21. McLeish, M., «Exploring Knowledge Acquisition Tools for a Veterinary Medical Experts System», accepté pour la *First International Conference on Industrial and Engineering Applications of AI and Expert Systems*, juin 1988, pp. 778–788.

22. McLeish, M., «Comparing Knowledge Acquisition and Classical Statistical Methods in the Development of a Veterinary Medical Expert System», *Interface 88 Proceedings* (Statistiques et Informatique), avril 1988, accepté.

23. Cecile, M., McLeish, M., Pascoe, P., Taylor, W., «Induction and Uncertainty Management Techniques Applied to Veterinary Medical Diagnosis», *Proceedings of the AAAI Uncertainty Management Workshop*, Minnesota, août 1988, pp. 38–49.

24. McLeish, M., «A Note on Probabilistic Logic», *Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence*, Minnesota, août 1988, pp. 215–219.

25. Cecile, M., Lopez-Suarez, A., McLeish, M., «Using Large Databases of Statistical Information in the Design of a Veterinary Medical Diagnostic System», *Proceedings of the 1988 AAAI Workshop on Databases in Large AI Systems*, Minnesota, août 1988, pp. 36–46.

26. McLeish, M. (et autres), «Uncertainty Management and Knowledge Acquisition Techniques from a Medical Information System», accepté pour le *2nd International Workshop on AI and Statistics* (W. Gale, Bell Labs), jan. 1989, soumis à *Annals of Math and AI*.

Intelligence artificielle à Queen's[1]

Édité par Janice Glasgow[2]

L'IA fait l'objet de recherches et d'un enseignement actifs à l'Université Queen's. En ce qui a trait à l'enseignement, Queen's offre un baccalauréat spécialisé en cognitique. Ce programme est administré conjointement par les départements de psychologie et d'informatique et des sciences de l'information. Il porte sur l'ensemble des connaissances en psychologie et en informatique, et étudie en profondeur les domaines de l'IA et de la psychologie des connaissances. L'université offre aussi un éventail de cours de deuxième cycle reliés à l'IA.

À Queen's, la recherche en IA est concentrée sur les domaines de la robotique, de la perception, des systèmes à base de connaissances et de la musique. Voici une description de quelques-uns des projets de recherche en cours à Queen's.

Robotique et perception

Chercheurs : Département de l'informatique et des sciences de l'information : Roger Browse, Randy Ellis, Dorothea Blostein; Département de psychologie : Susan Lederman, Terry Caelli; Département du génie électrique : Mohammed Bayoumi.

La plupart des systèmes robotiques actuels ne peuvent opérer qu'à l'intérieur d'un plan complètement compris de l'espace de travail. Si chaque situation est la réplique exacte d'un prototype d'environnement, il est possible que le robot exécute efficacement ses tâches. Mais les robots de l'avenir devront compter avec des environnements imprécis et changeants; ils devront donc posséder des caractéristiques perceptuelles évoluées. Les projets d'intelligence artificielle menés par les laboratoires de robotique et de perception de Queen's portent sur les problèmes de perception machine et de soutien pour les robots intelligents.

Terry Caelli et Roger Browse recherchent la cause de la segmentation d'image à l'aide de techniques telles que la relaxation contrôlée et les filtres à caractéristique spatio-chromatique, dérivées de conditions d'apprentissage supervisé et de cartes de caractéristiques séparées, comme le suggère la théorie de l'intégration des caractéristiques. La discrimination généralisée de la structure partage plusieurs aspects des problèmes de la segmentation; c'est pourquoi ce sujet est également examiné, particulièrement en rapport avec le rendement humain dans des conditions de différences limitées de texture. De plus, Dorothea Blostein étudie l'usage de l'information de structure dans la dérivation de l'orientation de surface. Browse et Caelli font des recherches sur la reconnaissance des objets et l'identification de pièces en utilisant à la fois les méthodes de vue canonique et les approches de modèle d'objets.

Dans la division de psychologie expérimentale des laboratoires de robotique et de perception de Queen's, Susan Lederman et sa collaboratrice Roberta Natzky (University of California, Santa Barbara) ont démontré que la reconnaissance tactile d'objets par les humains est rapide, précise et souple. Leur travail de ces dernières années constitue l'une des premières tentatives connues pour l'établissement d'un canevas théorique systématique et d'une approche expérimentale complète visant à modéliser l'exploration intelligente et la reconnaissance d'objets par le toucher humain (avec ou sans vision). Elles ont utilisé avec succès toutes sortes de techniques expérimentales; toutes faisaient appel à l'analyse des mouvements de la main humaine ou à d'autres mesures du rendement de l'exploration et de l'identification tactile d'objets par les humains. Ces techniques leur ont permis d'examiner les réponses aux questions suivantes : Existe-t-il des associations nettes entre la façon dont l'humain explore manuellement un objet et le genre de connaissance de l'objet recherché (forme, fermeté, texture, etc.)? Puisqu'il est démontré que tel est le cas, quelle est la nature de ces rapports? Pourquoi certains mouvements de la main sont-ils utilisés pour extraire certains genres d'information des objets tridimensionnels? Quels facteurs influent sur l'ordre dans lequel ont lieu l'exploration intelligente et le traitement de l'information des objets, et de quelle façon? Quelle est la nature de la représentation de l'objet dans la mémoire, et du traitement (piloté par données et modèles) par lequel ces représentations sont créées quand le toucher est utilisé (avec et sans vision)?

Un autre projet de ce laboratoire examine la nature du traitement des stimuli que reçoit l'épiderme, que ceux-ci sollicitent ou non l'attention. Pour poursuivre et développer le travail entrepris

---

[1] Réimprimé avec l'autorisation d'*Intelligence artificielle au Canada*, juillet : 22–25; 1989.

[2] Janice Glasgow est professeur adjoint au Département d'informatique et de sciences de l'information à Queen's. Ses recherches portent notamment sur la sémantique des langages de programmation et sur l'IA.

par Lederman, un appareil spécial est en cours de construction, en collaboration avec Tom Moore du département de génie mécanique. Cet appareil, appelé Q'HAND pour Queen's Haptic Attention Device (dispositif d'attention haptique de Queen's), permet à des stimuli (par exemple, des surfaces variées quant à la texture, le matériau, la souplesse, la forme, etc.) d'être transmis à n'importe lequel des doigts de chaque main, et contrôlés par l'ordinateur. Cette expérience, rarement tentée jusqu'à présent dans l'étude du traitement de l'information tactile, offre la possibilité d'explorer beaucoup plus avant ces questions.

Les travaux de Lederman et Klatsky sur la perception et la reconnaissance des objets par les humains ont donné lieu à des retombées fort intéressantes et d'un potentiel considérable pour l'industrie. Ces chercheuses tentent d'appliquer la connaissance de la structure et de la fonction des systèmes perceptuels biologiques (le toucher, avec et sans vision) à la conception de systèmes perceptuels souples pour des mains robotiques sensibles et adroites, capables d'exploration intelligente, de perception et de reconnaissance, de préhension et de manipulation d'objets. Le premier succès en application robotique du travail de Lederman et Klatsky sur les humains a été implémenté par Sharon Stansfield, sous la supervision de leur collaboratrice Ruzena Bajcsy, qui dirige le laboratoire GRASP de robotique perceptuelle à l'Université de Pennsylvanie. Stansfield a développé un système perceptuel tactile capable de reconnaître un nombre considérable d'objets ordinaires en utilisant un système de vision stéréoscopique pour localiser l'objet et un bras Puma 560 équipé au poignet d'un détecteur réseau de tension Lord LTS-200 pour l'exploration active des objets.

Un aspect important de cette équipe innovatrice est son grand intérêt pour la détection active et l'exploration perceptuelle par les systèmes robotiques sensibles, qui peuvent être utilisés efficacement dans une grande variété de situations. Par exemple, une pratique courante de la NASA consiste à remplacer tout un panneau de commande de la navette spatiale quand un seul élément fait défaut. Ce n'est toutefois pas un procédé économique. La solution de rechange serait qu'un robot sensible explore activement le panneau pour déterminer et remplacer la pièce défectueuse. Le fait de ne transporter dans l'espace que de petits éléments au lieu de pièces lourdes, comme un panneau entier, économiserait un espace précieux à bord de la navette spatiale. L'exploration robotique guidée par les données peut être utilisée pour déterminer la composition du sol de planètes peu connues.

Le travail de Randy Ellis concerne principalement la conception et l'utilisation de détecteurs tactiles pour améliorer les capacités de perception et de manipulation des systèmes évolués de robotique. Son travail actuel porte sur trois problèmes : la propagation et la gestion de l'incertitude dans la perception, les spécifications théoriques des détecteurs tactiles et les questions de force et de rétroaction tactile pour les systèmes de télémanipulation.

Le projet sur l'incertitude est basé sur l'observation que les lectures de capteurs, quelle qu'en soit la source, contiennent obligatoirement des erreurs. Dans un système de reconnaissance basé sur un modèle, ces erreurs se propagent en tant qu'incertitudes par le traitement du signal, la concordance initiale, l'interprétation des données, et parfois lors d'une étape de la planification d'une nouvelle série d'actions visant à faciliter la reconnaissance de l'objet. Grâce à une approche de géométrie machine, Ellis a trouvé des limites analytiques étroites à l'incertitude d'un paradigme de reconnaissance tactile et a utilisé ces résultats pour produire un système robotique qui raisonne sur la manière de planifier le «meilleur parcours suivant» pour les contacts subséquents avec un objet situé dans l'espace de travail d'un robot.

Dans la perception tactile, un problème freine les efforts des chercheurs : fait que la conception et l'utilisation des capteurs aient suivi des cheminements différents. Ellis examine la possibilité de préciser les relations paramétriques entre la dynamique des membres robotiques, les caractéristiques des capteurs tactiles et les spécifications des tâches, dans le but de déterminer quelles propriétés des capteurs sont nécessaires pour faire exécuter une tâche donnée par un robot donné. Idéalement, de telles spécifications pourraient alors être utilisées pour guider la conception de capteurs tactiles plus évolués.

La télémanipulation est un autre projet ambitieux de ce laboratoire. Il s'agit d'un effort concerté de Browse, Bayoumi, Ellis et Lederman. Le but de ce projet est de transmettre une rétroaction multisensorielle évoluée à un opérateur humain guidant à distance les mouvements d'un robot. Ellis mène ses recherches sur la conception et la maîtrise d'une commande de position mesurant la force

exercée, qui permettra à l'opérateur de «sentir» les forces agissant sur l'effecteur d'extrémité du robot lorsque celui-ci imite ses gestes. Lederman et lui examinent aussi les problèmes de l'interaction opérateur-système, pour rechercher des présentations pratiques et puissantes de l'information multisensorielle et pour caractériser le rendement de l'opérateur dans les tâches de manipulation courantes.

Systèmes à base de connaissances

Chercheurs : Informatique et sciences de l'information : Janice Glasgow, Mike Jenkins; Génie mécanique : Brian Surgenor.

Le projet Nial de l'université Queen's porte sur la conception, l'implémentation et l'application du langage Nial (Nested Interactive Array Language ou langage imbriqué interactif de rang). L'un des principaux domaines d'application de Nial est l'intelligence artificielle; ses opérations puissantes de manipulation dynamique des données, tant symboliques que numériques, permettent une implémentation directe des techniques de l'IA.

La recherche dans le domaine des systèmes à base de connaissances est répartie en deux catégories : les outils et les applications.

Outils d'IA

La trousse d'outils Nial pour l'IA est un produit de la recherche en cours sur le projet Nial. Le principe directeur de ce travail est de fournir des éléments à partir desquels on pourra mettre au point des systèmes à base de connaissances sur mesure. L'objectif est de fournir des implémentations directes de techniques de base qui puissent être suffisamment comprises pour être modifiées par le programmeur qui travaille à une application particulière.

Un des outils ainsi mis au point est un environnement de programmation logique. Le but de cette recherche était d'intégrer le style fonctionnel de Nial aux capacités déclaratives de la logique. Une variété de démonstrateurs de théorèmes ont été implémentés, certains utilisant des stratégies d'unification sémantique et de recherche heuristique. Ces démonstrateurs varient tant en souplesse qu'en efficacité.

L'unification sémantique élimine la nécessité de prédicats intégrés dans le système de programmation logique. Comme toute expression en Nial peut être un terme de la logique, les rangs et les applications des fonctions sur les rangs peuvent être représentés dans ce langage. La sémantique sous-jacente à la théorie des rangs de Nial fournit la base permettant de traiter ceux-ci comme des termes logiques du langage. L'approche utilisée est fondée sur une axiomatisation de la théorie des rangs selon laquelle ceux-ci sont construits grâce à deux fonctions fondamentales de la théorie : le remaniement et l'attelage.

Un important résultat scientifique de ce projet a été le développement d'un environnement dans lequel les programmes de bases de données et les programmes logiques peuvent tous être représentés et traités. Une des raisons de ce succès est fondée sur le formalisme mathématique de la théorie des rangs, base de Nial. Une base de données de listes est une structure de rang pouvant être manipulée à l'aide des fonctions de la théorie des rangs. De même, les clauses logiques peuvent être représentées comme des rangs imbriqués, et des fonctions mathématiques (comme l'unification et la résolution) peuvent être exprimées dans la théorie des rangs pour définir les stratégies de commande de la logique. Ainsi, une seule entité sémantique peut être utilisée pour les deux formes de représentation. Le résultat de cette recherche est la capacité d'explorer les avantages et les inconvénients de la séparation de l'information factuelle, comme celle qui est emmagasinée dans une base de données conventionnelle, de la connaissance ou des règles générales qui se rapportent à ces faits.

D'autres outils ont été développés, notamment un langage-cadre et des règles d'interprétation amont et aval.

Applications

Le langage de programmation Nial a été utilisé dans plusieurs universités et industries pour développer des prototypes de systèmes à base de connaissances. Ces derniers comprennent des systèmes pour l'entretien des avions (Université Brunel, Angleterre), la diagraphie des sondages (Conseil de recherches de l'Alberta), l'élimination des imprécisions et la commande de systèmes (IBM et université technique du Danemark), l'essai automatique des logiciels (IBM Toronto) et le tri des contrats d'assurance (deux compagnies d'assurance). De la même façon, l'Université Queen's joue un rôle actif dans le Computer Aided Process Engineering Lab, sous-groupe du Manufacturing Research Corporation Centre of Excellence pour l'Ontario. Dans ce projet, nous collaborons avec

des ingénieurs en chimie et en mécanique des universités de Waterloo, Toronto et Queen's dans le développement de prototypes de systèmes à base de connaissances pour le génie du traitement.

Le projet Nial de Queen's développe actuellement deux prototypes de systèmes experts commandés par l'industrie :

- *Système automatisé de gestion des données pour les systèmes mobiles d'entretien* : Ce système est mis au point en collaboration avec Spectrum Engineering de Peterborough; il est financé par le programme de Technologie stratégique en automatisation et robotique (TSAR). Les tâches principales de ce système incluent le diagnostic des pannes, le traitement des données des capteurs, l'analyse des tendances des capteurs l'entretien et les rapports de fiabilité. En raison de la nécessité de gérer à la fois les données et la connaissance dans ce système, Nial s'est révélé un langage d'implémentation des plus utiles.

- *Système d'amortissement à base de connaissances* : Le groupe de recouvrement du capital de Bell Canada a exprimé ses besoins d'un système informatique qui l'aiderait à faire l'analyse de la durée de vie des biens de la société. Ce projet réunit Bell et le projet Nial de Queen's dans un contrat de recherche sur le développement d'un tel système, qui utiliserait la technologie des systèmes à base de connaissances et le langage de programmation Nial. Ce système agira en collaboration avec un procédé déjà mis au point par Bell Canada et qui automatise une grande partie des calculs courants nécessaires à l'analyse de la durée de vie. Ce nouveau système devrait suggérer les courbes et les lignes représentant le mieux la probabilité de désuétude, selon les données passées introduites par l'utilisateur et les facteurs influant sur les tendances futures.

- *Commande et exploitation d'un système thermique* : On a suggéré que l'IA pourrait améliorer de façon significative le rendement des procédés en fournissant à l'opérateur, en temps opportun, un avis d'expert sur les commandes et les méthodes les plus appropriées à un mode donné d'opération. Brian Surgenor examine actuellement le rendement d'un prototype de système à base de connaissances appliqué à un modèle physique d'un système de régulation de la température de la vapeur d'un surchauffeur.

Intelligence artificielle et musique

Chercheurs : Département d'informatique et des sciences de l'information : Dorothea Blostein, Eli Blevis, Peter Farrett.

Le travail de Peter Farrett porte sur la logique symbolique telle qu'elle s'applique à la modélisation des bases de connaissances. Il examine en particulier les modèles monotoniques et non monotoniques. Le domaine examiné est «l'aide-compositeur», un outil de composition musicale qui modélise le comportement de l'utilisateur final. Il s'agit d'un domaine interdisciplinaire qui fusionne les mathématiques avancées, la connaissance musicale et l'informatique. Cette recherche devrait augmenter le potentiel de la technologie des systèmes à base de connaissances dans les applications actuelles de musique par ordinateur.

Eli Blevis travaille à la mise au point d'un langage de programmation permettant aux compositeurs d'exprimer leurs activités d'une manière qui soit significative pour eux. Cette voie l'a conduit à envisager la construction du langage à partir d'un premier principe sémantique : qu'est-ce que la logique musicale, et comment diffère-t-elle des logiques qui sont censées modéliser des notions de vérité ou de réalité? L'importance de ce travail pour l'informatique illustre, croyons-nous, l'influence de la pensée moderne relative à la logique sur la conception et la sémantique d'un langage de programmation à application spécifique.

La réalisation de la vision artificielle s'appuie sur la combinaison de traitements d'extraction de primitives de bas niveau et de procédés d'interprétation à fort contenu de connaissances de haut niveau. Pour étudier la modélisation de la connaissance de l'univers et l'utilisation de ces modèles dans l'interprétation des images, il est utile de se concentrer sur les domaines d'images restreints, dont la sémantique est bien définie.

Dorothea Blostein examine des méthodes d'extraction de la sémantique de représentations bidimensionnelles de données telles que les graphes, les diagrammes, les partitions musicales ou les diagrammes de câblage. De tels diagrammes sont soumis à des règles et à des conventions strictes. Comme ces conventions sont bien définies d'une manière peu structurée, la recherche peut se concentrer sur la façon de formaliser ces notations en une représentation appropriée à l'interprétation des images. Pour garder un caractère concret, elle se concentre sur un type particulier de diagramme

(les partitions musicales), mais dans le but de développer des techniques générales de représentation et d'interprétation s'adaptant à une grande variété de notations. Ce problème offre des applications pratiques importantes. Par exemple, une compagnie de services publics désirant informatiser sa tenue de dossiers peut disposer d'une foule de diagrammes (montrant le lieu de passage des tuyaux et des câbles, les trous de visite, etc.) devant être introduits dans un système informatique. Cette tâche fastidieuse prend beaucoup de temps si on l'effectue manuellement; il serait nettement préférable que l'ordinateur puisse interpréter directement les images des données.

Financement courant de la recherche décrite

CRSNG (Opération, infrastructure et équipement); CNRC (Programme TSAR); Manufacturing Research Corp. of Ontario (MRCO); Centre de recherches sur les technologies de l'information (CRTI); U.S. Office of Naval Research (ONR); Bell Canada.

Références

1. R. Bajcsy, S. Lederman, R. Klatzky, «Machine systems for exploration and manipulation : A conceptual framework and method of evaluation». Soumis.

2. E.B. Blevis, M.A. Jenkins, «Computing Similarity in Music Presentation» au *First International Workshop on Artificial Intelligence and Music, Gesellschaft für Mathematik and Datenuerar-beitung*, St. Augustin (Allemagne de l'Ouest), 1988.

3. E.B. Blevis, M.A. Jenkins, J.I. Masgow, «Motivations, Sources, and Initial Design Ideas for CALM : A Composition Analysis/generation Language for Music». *Proceedings of the First Workshop on A.I. and Music at AAAI-88*, St. Paul (Minnesota), 1988.

4. E. Blevis, «A Basis for Effective Logic Programming in Nial» Master's Thesis Queen's University at Kingston, 1986, Thèse.

5. E.B. Blevis, M.A. Jenkins, E.P. Robinson, «On Seeger's Music Logic» *INTERFACE : Journal of New Music Research*. (À paraître, été 1989).

6. D. Blostein, N. Ahuja, «A Multi-Scale Region Detector» *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. Accepté le 24 juin 1989.

7. D. Blostein, J. Ahuja, «Shape from Texture : Integrating Texture-element Extraction and Surface Estimation», Soumis à *Pattern Analysis and Machine Intelligence*.

8. D. Blostein, N. Ahuja, «Representation and Three-Dimensional Interpretation of Image Texture : An Integrated Approach», *Proceedings First International Conference on Computer Vision*, Londres, juin 1987.

9. D. Blostein, «Recovering the Orientation of Textured Surfaces in Natural Scenes», Coordinated Sciences Laboratory, *University of Illinois Technical Report UILU-ENG-87-2219*, 1987.

10. R. Chau, J. Glasgow, M. Jenkins, «A Framework for Knowledge Based Systems», dans Nial *Proceedings of the 6th Annual IEEE Phoenix Conference on Computers and Communication*, février 1987.

11. R. Chau, «A Model for Knowledge Information Processing Systems», dans *Nial Master's Thesis*, Queen's University at Kingston, janvier 1987.

12. R. Chau, J. Glasgow, M. Jenkins, «Fuzzy Information Management Using the Roster Model», *Proceedings of 21st Hawaii International Conference on System Sciences*, janvier 1988.

13. R.E. Ellis, «Uncertainty Estimates for Polyhedral Object Recognition», *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics* 1989 (à l'impression).

14. R.E. Ellis, «A Tactile Sensing Strategy for Model-based Object Recognition» Computer and Information Science, University of Massachusetts Ph.D. Thesis, publiée sous le titre *COINS Technical Report* 87–96, 1987.

15. R.E. Ellis, E.M. Riseman, A.R. Hanson, «Tactile Recognition by Probing : Identifying a Polygon on a Plan», *Proceedings of the AAAI Conference*, pp. 632–637, 1986.

16. R.E. Ellis, «An Approach to the Integration of Vision and Touch for Robot Control», *Proceedings of the IFAC Symposium on Robot Control*, pp. 343–348, 1985.

17. J. Glasgow, M. Jenkins, C. McCrosky, «User Defined Parallel Control Strategies», *Proceedings of the Second IEEE Symposium on Logic Programming*, 22–28 Boston 1985.

18. J. Glasgow, M. Jenkins, C. McCrosky, H. Meijer, «Expressing Parallel Algorithms in Nial», *Parallel Computing*, février 1988.

19. J. Glasgow, M. Jenkins, «Array Theory, Logic and the Nial Language» *Proceedings of the International Conference on Computer Languages*, Miami (Floride), octobre 1988.

20. L. Hache, «NFL : A Frame Representation Language in Nial Master's thesis», Queen's University at Kingston 1986 *Nial Frames Thesis*.

21. M. Jenkins, J. Glasgow, «A Logical Basis for Nested Array Data Structures», Queen's University at Kingston *Technical Report # 87-205* (Révisé février 1988) décembre 1987.

22. M. Jenkins, J. Glasgow, C. McCrosky, «Programming Styles in Nial IEEE Software Engineering», 46–55 1986. Aussi publié sous le titre *Proceedings of the 19th Hawaii International Conference on Systems Sciences.*

23. M. Jenkins, W. Jenkins, Q'Nial AI Toolkit Nial Systems Ltd., Kingston (Ontario) 1987.

24. M. Jenkins, J. Glasgow, E. Blevis, R. Chau, E. Hache, D. Lawson, «The Nial AI Toolkit», *Proceedings of Avignon '88 Eighth International Workshop on Expert Systems and their Applications*, juin 1988.

25. R. Klatzky, S. Lederman, C. Reed, «There's more to touch than meets the eye: relative salience of object dimensions for touch with and without vision», *Journal of Experimental Psychology : General* 1987 116(4) 356–369.

26. S. Lederman, R. Klatzky, «Hand movements: A Window into haptic object recognition», - *Cognitive Psychology* 1987 19(3) 342–268.

27. S. Lederman, R. Browse, R. Klatzky, «Haptic processing of spatially distributed information» *Perception & Psychophysics* 1988 44(3) 222–232.

28. S. Lederman, R. Browse, «The physiology and psychophysics of touch» (pp. 71–91). Chez P. Dario (Ed.), Sensors and sensory systems for advanced robots. NATO ASI Series F : *Computer and Systems Science*, Springer-Verlag : Berlin 1988.

29. S. Lederman, R. Klatzky, «Haptic exploration and object representation». Dans Goodale, M. (Ed.) *Vision and action : the control of grasping*. New Jersey : Ablex, à l'impression.

Université de la Saskatchewan

Par Gord McCalla, professeur

Introduction

Au département d'informatique, cinq des seize professeurs à temps plein ont comme domaine principal de recherche l'intelligence artificielle. Gord McCalla s'intéresse à une grande variété de questions, dont la représentation des connaissances, la compréhension du langage naturel, la planification dynamique et le diagnostic. Actuellement, ses travaux portent surtout sur les systèmes tutoriels intelligents. Jim Greer s'intéresse lui aussi aux systèmes tutoriels intelligents, ainsi qu'à la modélisation cognitive et au raisonnement qualitatif. Eric Neufeld effectue des recherches sur les bases de la représentation des connaissances, en particulier le raisonnement probabiliste. John Cooke a pour sa part une longue expérience en cognitique et s'intéresse depuis peu à la gestion des incertitudes dans les systèmes experts à base de règles. Enfin, Herb Yang travaille depuis plusieurs années en traitement des images, dans des secteurs aussi variées que l'analyse des formes, la segmentation, l'analyse du mouvement, l'utilisation de la couleur, ainsi que les principes physiques et les mathématiques de la vision artificielle.

En plus de ces cinq chercheurs, plusieurs autres membres du département font de la recherche dans des domaines liés de près à l'intelligence artificielle. Jim Carter s'intéresse à l'ergonomie, plus précisément aux méthodologies de conception de systèmes intégrés intelligents. Paul Tremblay travaille à un sous-projet de l'IRIS (Institut de robotique et d'intelligence des systèmes) qui vise à utiliser les techniques de l'IA pour la conception de systèmes d'informations à grande échelle. Finalement, le professeur adjoint Marlene Jones, du Conseil de recherche de l'Alberta, fait profiter le Département de son expérience dans l'application de l'IA en enseignement.

Quelques projets IA sont décrits ci-dessous, afin de donner un aperçu des différents types de recherches en cours au département. Ces projets sont subventionnés de diverses façons, dont les Subventions pour dépenses courantes du CRSNG, les fonds des Réseaux de centres d'excellence, et les bourses que l'Université de la Saskatchewan offre à de nombreux étudiants diplômés.

Quelques projets

Projets du Laboratoire ARIES (McCalla, Greer, Jones)

Le Laboratoire ARIES (Advanced Research in Intelligent Educational Systems), fut fondé en 1987 avec pour but de servir de plaque tournante au nombre croissant de projets visant l'utilisation des techniques de l'IA en formation et en enseignement. Grâce à l'intelligence artificielle, les approches traditionnelles de l'enseignement assisté par ordinateur peuvent devenir plus flexibles et mieux s'adapter aux étudiants. L'IA peut aussi aider à la conception d'environnements d'apprentissage et de formation permettant à l'étudiant de découvrir des concepts par lui-même.

Le principal projet en cours au Laboratoire ARIES a pour nom SCENT (Student Computing Environment). Il a vu le jour au milieu des années 80, sous la direction de Gord McCalla et de Rick Bunt, que Jim Greer remplaça plus tard, en tant que chercheur principal. L'éventuel but de SCENT est la création d'un environnement de programmation coopératif et intelligent destiné à des programmeurs débutants. Au fil des ans, divers aspects de SCENT ont été étudiés, dont la reconnaissance des stratégies des étudiants à partir de leur code, la reconnaissance des stratégies erronées, les structures de commande de type tableau noir destinées à SCENT, et l'analyse empirique des techniques de rédaction de programmes utilisées par chaque étudiant. Récemment, la nouvelle architecture de SCENT-3 a été développée. Elle servira de guide aux prochaines études portant sur SCENT. Les recherches actuelles portent sur la reconnaissance fondée sur la granularité, la planification didactique, les modèles mentaux de récursion, la mise à jour du modèle de l'étudiant et la conception d'outils cognitiques. Les étudiants suivants, diplômés ou assistants à la recherche, ont travaillé au projet SCENT au cours des années : Janelle Harms, Teng Ng, Paul Pospisil, Bryce Barrie, Xueming Huang, Barb Brecht, Judy Escott, Randy Coulman, Mary Mark, Shawkat Bhuiyan, Luong Nguyen et Mike Oliphant.

Outre SCENT, de nombreux autres projets ont été lancés sous les auspices du Laboratoire ARIES. L'un d'entre eux, dirigé par Dinesh Gadwal, vise la conception d'un tuteur pour le jeu d'échecs à base de connaissances, ce qui devrait donner un regain d'intérêt pour l'application de l'IA aux échecs en allant plus loin que les simples algorithmes de recherche. Un autre projet ARIES, dirigé par Dan Baril, porte sur l'application de

méthodes de raisonnement qualitatif à l'enseignement portant sur des dispositifs complexes. Mary Mark travaille à un projet qui vise à déterminer de quelle façon une fonction d'évaluation peut être intégrée à un système tutoriel dès sa conception, de manière à faciliter l'évaluation de ce système plus tard. Des expériences réalisées par Barb Brecht et Marlene Jones visaient à utiliser le graphe génétique pour déterminer et prédire les chemins d'apprentissage des élèves. Marlene Jones s'intéresse aussi à l'évaluation pédagogique et à la conception de programmes d'études. De tout nouveaux projets portent sur le dialogue tutoriel (Carl Gutwin), la planification des activités d'enseignement (Permanand Mohan), la planification pédagogique basée sur des cas (Zhihui Du), la familiarisation avec les techniques d'enseignement (Maya Kurup), et des approches fondées sur la granularité pour l'apprentissage par recherche d'explications (Srinivas Palthepu).

Sous-projets IRIS (Neufeld, Greer, McCalla, Tremblay)

Quelques membres du département d'informatique participent au projet des Réseaux de centres d'excellence du gouvernement fédéral, IRIS. Paul Tremblay, Gord McCalla et Jim Greer travaillent à un sous-projet IRIS commun visant la conception et la fabrication de systèmes d'informations à grande échelle. Paul Tremblay étudie (avec son ex-collègue Paul Sorenson, maintenant à l'Université de l'Alberta) la production de méta-installations pour outils CASE. Jim Greer et Gord McCalla sont à concevoir un système d'aide intelligent qui aidera les utilisateurs des systèmes à mieux comprendre le fonctionnement des outils de conception des systèmes d'informations, qui sont souvent complexes. Enfin, Eric Neufeld travaille à un autre sous-projet IRIS lié à la représentation formelle des connaissances. Son principal intérêt porte sur la façon dont des notions de raisonnement du «bon sens» peuvent être traduites en termes probabilistes.

Projets en traitement des images (Yang)

Herb Yang s'intéresse depuis de nombreuses années au traitement des images. Il a travaillé et travaille encore à plusieurs projets. L'un d'entre eux porte sur l'élaboration de techniques pouvant servir à la reconnaissance de formes modifiées en conditions contrôlées. Un autre projet étudie les mouvements du corps humain, dans le but de créer un système pratique permettant de suivre, d'identifier et de comprendre les mouvements du corps humain. La stéréopsie informatique couleur est au centre d'une autre étude : une nouvelle technique de stéréopsie, incorporant des données couleur, semble donner de meilleurs résultats que les approches achromatiques actuelles. Ces travaux ont fait naître un intérêt pour les questions de base en vision artificielle couleur, et d'autres recherches ont été entreprises pour déterminer les facteurs influant sur l'utilisation de la couleur dans les systèmes de vision humaine et artificielle. On développe présentement des applications en imagerie biomédicale du travail de Herb Yang dans le domaine de la vision, en collaboration avec le département d'obstétrique et de gynécologie de l'Université de la Saskatchewan et le Groupe d'études cellulaires de l'Université McGill. Au fil des ans, de nombreux étudiants diplômés ont contribué aux recherches en imagerie, dont Doug Brockelbank, Maylor Leung, Jian Xu, Warren Long, David Callele et Sudarsan Tandri.

Gestion des incertitudes dans les systèmes experts (Cooke, Neufeld)

Sous la supervision de John Cooke et de Eric Neufeld, Kofi Sapong, étudiant diplômé, examine diverses manières de traiter les incertitudes dans les systèmes experts, dont le théorème de Bayes, l'approche du coefficient de certitude, la théorie de Dempster et Shafer et la logique floue. L'évaluation de ces approches se fait par comparaison avec des prises de décision par des experts humains dans le domaine des finances.

Conclusion

Comme le montrent ces descriptions de projets, l'intelligence artificielle est un élément important et dynamique des activités au département d'informatique de l'Université de la Saskatchewan. (Il ne sera pas question ici de l'autre type d'IA, dont s'occupe le Collège d'agriculture.) La recherche en intelligence artificielle devrait poursuivre sa croissance au cours des années à venir, alors que les jeunes chercheurs prendront de l'expérience, que les chercheurs déjà établis consolideront leur réputation et que le marché du travail commencera à ressentir les effets de l'arrivée de nombreux diplômés.

Université Simon Fraser[1]

En 1976, Nick Cercone, jeune diplômé de l'Université de l'Alberta, était invité à donner un cours à la SFU sur l'informatique et les humanités (Computing and the Humanities). Un des principes sous-jacents à ce cours était que les gens dans le secteur des humanités pourraient tirer profit de la recherche en intelligence artificielle (IA). Il était par exemple reconnu que les experts en littérature et les linguistes ont souvent besoin de rattacher manuellement des étiquettes sémantiques ou syntaxiques à des mots de leurs textes, alors qu'il était possible qu'un ordinateur doté d'IA effectue ce travail.

Au moment où Dr Circone entreprit d'assister à des conférences internationales sur l'informatique et les humanités à la fin des années 70, il se rendit bien vite compte que l'accent mis par la SFU sur les études interdisciplinaires aurait avantage à s'appuyer sur une solide contribution de l'IA. C'est alors que débuta l'enseignement des principes de base de l'IA et de la linguistique algorithmique. Peu de temps après, Brian Funt, expert en systèmes de vision machine, fut embauché, après quoi l'experte en linguistique et en programmation logique, Veronica Dahl, vint se joindre à l'équipe d'IA de la SFU. De là, la recherche en IA à la SFU se développa jusqu'à faire appel à 11 professeurs en titre et à plusieurs douzaines d'associés de recherches. En outre, il existe d'autres professeurs dont la contribution ne cesse de croître. Bon nombre de membres des diverses facultés de la SFU ont démontré leur intérêt à l'égard de l'IA, sans toutefois avoir bénéficié de formation systématique en IA. On pense notamment à Tom Calvert de la faculté de cinésiologie et à Tom Poiker de la faculté de géographie.

Les recherches menées à la SFU portent sur cinq domaines principaux de l'IA classique : les systèmes experts, la vision machine, la linguistique algorithmique, la représentation des connaissances et les systèmes d'apprentissage. Il en résulte un vaste éventail de sujets maintenus dans un équilibre qui ne pourrait être atteint si les efforts se concentraient sur l'un ou l'autre des domaines en particulier.

Du point de vue théorique, les recherches vont de la représentation formelle des connaissances et des significations à la logique de la cognition et de la croyance. Un plus grand nombre d'études pratiques portent sur la nature de la vision, la perception des couleurs, la planification du mouvement, la compréhension du langage naturel et la traduction machine. Au niveau le plus appliqué, des travaux se poursuivent sur l'utilisation de systèmes experts au coeur de nouveaux et puissants systèmes de conception assistée par ordinateur, tandis que d'autres portent sur l'interface opérateur–machine qu'exigent des logiciels perfectionnés de traitement de texte, de traitement graphique et de reconnaissance de la parole.

Tandis que ce bref rapport décrit les travaux des principaux chercheurs, bon nombre d'autres professeurs de la SFU ont également recours au domaine de l'IA. Binay Bhattacharaya applique la géométrie de calcul à des problèmes d'IA. Le philosophe Steven Davis se penche sur les aspects cognitifs de la pragmatique ainsi que sur les théories de l'action et de la croyance. Jiawei Han du département d'informatique étend ses compétences en systèmes de base de données à des méthodes de découverte de connaissances. Pendant ce temps, Philip Winne du département d'éducation utilise l'IA pour aider les enseignants à améliorer la préparation de leurs plans de cours, tout en travaillant également à un système tutoriel intelligent.

Pour bon nombre de professeurs, la recherche en IA constitue l'un des plus grands défis intellectuels de tous les temps. Elle soulève de nombreuses questions. Qu'est-ce que l'intelligence? Comment les connaissances en viennent-elles à avoir une signification? Et quelle est la nature de la croyance? N. Cercone aime parler d'une sorte «d'épistémologie appliquée». Si les chercheurs de la SFU ne découvrent pas le véritable «sens de la vie», au moins se penchent-ils sur des problèmes qui donnent un sens à la vie.

Les spécialistes en IA et leurs recherches

Moteurs de raisonnement

L'objectif de Dr R. Alleliunas consiste à montrer comment la programmation logique, l'IA et les concepts connexes peuvent avoir une incidence pratique considérable, souvent de façon inattendue. La valeur du lien entre la recherche et le développement commercial est clairement reconnue et maintenue.

Il a été établi que le contrôle de processus est un secteur pouvant tirer profit du difficile mariage

[1] Extrait autorisé de *Update*, avril 1990, vol. 2, numéro 3, «Centre for Systems Science, Simon Fraser University».

entre le calcul symbolique (c.-à-d. IA et Prolog) et les applications en temps réel. Entrepris chez Johnson Matthey Electronics, un projet de système expert spécialisé de contrôle de processus en temps réel tire actuellement à sa fin. Le système transforme une description de processus conviviale de haut niveau en signaux de commande de dispositif de bas niveau. Johnson Matthey y aura recours pour la production de cristaux semiconducteurs d'arséniure de gallium.

Les travaux les plus récents de Dr Alleliunas visent à rendre des modèles stochastiques plus tractables du point de vue des calculs. Longtemps avant l'apparition des ordinateurs, les ingénieurs connaissaient déjà bien la valeur des modèles stochastiques, qui constituent une solution de rechange aux systèmes experts typiques à base de règles actuellement utilisés.

Langage naturel et représentation des connaissances

Outre le fait qu'il soit Directeur par intérim du Centre for Systems Science (CSS), Dr Cercone a entrepris des recherches théoriques qui portent notamment sur une représentation servant à la compréhension des langages naturels au moyen de réseaux sémantiques étendus. La représentation employée peut être interprétée d'un point de vue formel (dans le sens de Tarski) et ne fait appel à aucune représentation spéciale au niveau conceptuel. Une méthode de calcul permettant de sélectionner les antécédents possibles d'expressions au-delà des limites d'une phrase est en cours de développement. Ce modèle se fonde sur un langage catégoriel λ pour la représentation des significations et intègre de précieuses caractéristiques de la sémantique de Frege ainsi que de la sémantique situationnelle élaborée par Barwise et Perry.

Les chercheurs du CSS innovent également par leur nouvelle façon de représenter et de manipuler des concepts non singuliers dans un discours en langage naturel. Cette représentation établit systématiquement la distinction entre les termes du langage qui réfèrent à des objets classés à l'intérieur de niveaux différents mais reliés du modèle, mais capture aussi les relations de dépendance entre les phrases du discours. Par ailleurs, la représentation sert de base à l'établissement d'une sémantique formelle des paragraphes du discours.

Le prototype de traducteur de l'anglais au SQL (interface en langage naturel avec des bases de données relationnelles) développé à la SFU a entraîné plusieurs progrès majeurs, y compris l'apprentissage de caractéristiques sémantiques et syntaxiques relatives aux mots anglais par un dialogue avec l'utilisateur, le calcul et l'utilisation pratique d'information de navigation correcte (parcours de jointure), et la portabilité entre bases de données.

Les travaux futurs mettront en jeu un concepteur et analyseur de base de données à système expert, doté d'une interface d'interrogation plus robuste et d'un interrogateur de grande souplesse. Les objectifs de conception sont la portabilité, l'acquisition automatisée des connaissances, la souplesse d'utilisation et la gestion de connaissance synergétique.

Traduction et génération de langage

Professeur associé d'informatique, Veronica Dahl, s'intéresse aux utilisations de la programmation logique pour le traitement des langages, pour les systèmes de base de données déductive et les systèmes experts et pour le développement des outils de programmation logique nécessaires à la solution des problèmes que posent ces secteurs.

La recherche actuelle porte sur l'automatisation des théories linguistiques, comme celle de Chomsky, le développement d'outils grammaticaux logiques précisément adaptés à ces théories (grammaires discontinues en particulier), le développement de structures à base d'unification applicables à des hiérarchies types de base de données déductive, et la traduction du paradigme de discontinuité statique, l'un des formalismes de la grammaire discontinue, en programme logique à proprement parler servant notamment à aborder les problèmes de conception.

La recherche appliquée en cours porte sur la traduction automatisée de rapports sur les marchés agricoles du français à l'anglais, et vice versa.

Représentation de connaissances formelle

Les travaux de recherche de Dr Jim Delgrande portent sur des extensions de la logique de premier ordre (LPO) applicables à des formes de raisonnement vulnérable. Par exemple, des expressions conditionnelles de sens commun comme «les oiseaux volent» sont traitées par l'addition d'un opérateur de condition variable à la LPO afin de représenter de telles assertions. Essentiellement, l'expression conditionnelle variable se lit comme suit : «dans le cours normal des choses, les oiseaux volent»; le raisonnement par défaut peut donc prendre la forme suivante : «si cette chose

est un oiseau, et rien ne me laisse croire le contraire, alors cette chose vole».

D'autres travaux portent notamment sur le problème des croyances limitées et contradictoires. Un agent omniscient saurait tout, mais les humains, et les ordinateurs en particulier, ne connaissent simplement pas toutes les conséquences de leurs croyances. L'être humain a pour particularité essentielle de pouvoir adopter des idées contradictoires : il nous est tous arrivé de prévoir deux réunions pour la même heure. Les travaux visent des théories formelles de la croyance qui modélisent un système intelligent ne connaissant pas l'ensemble complet des conséquences logiques de ses croyances.

Constance et vision des couleurs

Le travail de recherche de Dr Brian Funt portent sur la façon dont nous percevons les couleurs et, en particulier, sur la constance des couleurs : comment notre perception des couleurs demeure relativement constante sous différents éclairages. D'un point de vue pratique, la constance des couleurs est très importante pour nous, car les variations de couleurs que nous percevons, par exemple au passage d'un nuage devant le soleil, sont extrêmement marquées en dépit du fait que nous ne nous en rendions pas compte. Sans constance des couleurs, nous nous retrouverions perdus dans un monde de couleurs variables. De même, un robot qui se fie aux couleurs pour trouver son chemin, mais qui ne peut maintenir la constance des couleurs, se perdrait rapidement face à de telles perturbations.

Des efforts sont donc consacrés à l'élaboration d'algorithmes d'ordinateur assurant la constance des couleurs. Une façon d'aborder le problème consiste à rechercher des sources supplémentaires d'information au sujet de la lumière réfléchie par une surface, en ne tenant pas compte de celle fournie par les récepteurs de couleurs de l'oeil. Par exemple, une analyse de l'aberration chromatique causée par la lentille de l'oeil montre que ce type d'information au sujet du spectre de la lumière réfléchie peut justement s'extraire d'une image. Une communication à ce sujet a remporté le prix Marr de l'IEEE en 1988.

Planification du mouvement et vision machine

Les deux composantes d'un système robotique intelligent sont la perception et l'action. Les efforts de recherche de Dr Kamal Gupta portent sur ces deux aspects. Pour ce qui est de la perception des robots, l'objectif visé consiste à développer la théorie et à implanter des algorithmes en vue d'obtenir des modèles tridimensionnels des objets dans une scène donnée, tant à partir d'images de l'intensité que de la distance. Il s'agit notamment d'effectuer l'intégration de capteurs multiples ainsi que la reconstitution et l'analyse des surfaces.

En ce qui a trait à l'action robotique, on tente d'élaborer des algorithmes géométriques efficients pour des tâches telles que la planification du mouvement et la saisie des objets. Des efforts de recherches effectués dans ce sens par Dr Grupa ont permis de réaliser des planificateurs de mouvement efficaces pour des bras manipulateurs.

D'autres travaux comprennent l'examen d'algorithmes efficients de planification des mouvements de robots parmi des obstacles mobiles dans des domaines polygonaux où les efforts de recherche ont abouti à un cadre spatio-temporel apportant une solution efficace à de tels problèmes.

Aspects philosophiques de la cognition

La représentation des connaissances et l'apprentissage machine constituent les deux domaines de recherche de Dr Bob Hadley. Pour ce qui est de la représentation des connaissances, il s'intéresse à des modèles formels de la croyance, à la logique des prédicats de vérité et à la façon dont la croyance est reliée à une théorie sémantique fiable du point de vue cognitif. Des travaux récents ont porté sur la relation entre des modèles de croyance formels et des théories intensionnelles de sémantique et ont fait la critique de certaines notions prédominantes de logique épistémique en matière d'IA.

Les recherches sur des questions d'apprentissage machine mettent en jeu la robustesse des réseaux neuronaux en tant que modèles adéquats d'acquisition de connaissances syntaxiques et sémantiques. On s'est rendu compte que de graves problèmes découlaient du connexionisme, approche de grande envergure menant à une modélisation cognitive. Une communication récente à ce sujet met en doute l'affirmation selon laquelle les processus cognitifs de niveau supérieur reposent sur une architecture essentiellement connexioniste (réseau neuronal).

En outre, un projet de recherche a été entrepris dans le but d'examiner les façons dont il est possible d'utiliser les réseaux connexionnistes pour implanter un processus cognitif particulier de bas niveau. Le projet tentera de simuler les processus par lesquels de simples mots de référence dans le vocabulaire primitif d'un enfant s'associent aux objets et aux actions dans le monde que décrivent ces mots. Le processus est beaucoup plus complexe qu'on peut souvent le supposer.

Systèmes de raisonnement

Outre le fait d'être directeur du Laboratoire des systèmes experts de l'Université Simon Fraser, Dr Bill Havens s'intéresse au développement de la technologie des raisonnements par contraintes pour l'établissement de diagnostics, la synthèse et d'autres tâches de reconnaissance.

Au Laboratoire des systèmes experts de l'Université Simon Fraser, nous développons un nouveau moteur de raisonnement de système expert, appelé Echidna, qui intègre la programmation logique à contraintes, la représentation schématique des connaissances et des techniques de maintenance de la véracité. Il permet les raisonnements interactifs à base de modèle hypothétique, avec retour arrière de dépendance vraie en cas de défaillance.

En collaboration avec le Groupe de recherche en conception de l'Université Simon Fraser, nous développons actuellement un nouveau système de conception intelligent. Appelé intelCAD, il combine Echidna, un environnement moderne de dessin assisté par ordinateur et des graphiques de visualisation perfectionnés. Deux applications d'intelCAD sont actuellement en cours de développement : un système de conception architecturale (en collaboration avec les entreprises Panabode et Microlight) et un système de démonstration de génie mécanique servant à la conception d'un moteur Sterling (en collaboration avec Dr John Jones).

Aspects philosophiques de la cognition

Dr Ray Jennings s'intéresse depuis longtemps à l'application de la logique modale faible au contrôle des inférences à partir de données inconsistantes. La recherche actuelle emploie des modèles de logique conditionnelle naturelle comme moyens formels de représentation de la compréhension des domaines à l'intérieur de la base de connaissances d'un système de diagnostic. De tels modèles permettent de reconnaître toute relation physique entre des objets à pertinence inférentielle, tout en clarifiant la relation entre les relations causales et inférentielles.

Des travaux récents portent sur le développement d'un langage de système expert de diagnostic appelé GALEN, qui repose sur une logique multi-sortes d'ordre supérieur. GALEN est actuellement en utilisation à l'hôpital Veterans Administration de Syracuse (New York), où il aidera à perfectionner les critères de diagnostic par électrocardiogramme.

Une version de GALEN adaptée à des applications industrielles est développée par McCarney Technologies de Vancouver (Colombie-Britannique) pour les diagnostics des moteurs d'automobile.

Vision machine

Dr Ze-Nian Li, professeur adjoint en informatique, s'intéresse à des algorithmes parallèles et hiérarchiques de vision par ordinateur à l'aide de machines à parallélisme extrêmement élevé et étudie également l'intégration des données de capteurs multiples (stéréo, distance, etc.) pour la vision des robots. Des travaux se poursuivent aussi en vue du développement de la représentation des connaissances et de techniques de gestion des incertitudes pour les systèmes intelligents.

Linguistique algorithmique

Dans le domaine de la linguistique algorithmique, Dr Fred Popowich, professeur adjoint en informatique, mène des recherches axées sur des formalismes grammaticaux à base d'unification, soit des cadres extrêmement déclaratifs qui permettent l'interaction de différentes formes d'information (par ex. syntaxique et sémantique). Les recherches dans le secteur sont centrées sur la grammaire structurée par expressions à mots-souches (HPSG) et sur la grammaire à unification arborescente (TUG).

Le traitement des pronoms selon les règles de ces formalismes ainsi que les problèmes liés à l'analyse syntaxique font l'objet d'un intérêt particulier. Des systèmes de développement grammatical applicables à la HPSG et à la TUG sont actuellement en cours d'élaboration dans le cadre de projets touchant le Laboratoire de langage naturel et le Laboratoire de programmation logique.

Un autre secteur de recherche active est lié aux grammaires logiques, particulièrement les

grammaires à discontinuité statique (SDG). Ces grammaires permettent d'exprimer les relations non locales de façon succincte au moyen d'ensembles de règles grammaticales à clauses définies. J'examine actuellement différentes techniques d'analyse syntaxique applicables aux SDG ainsi que diverses applications des SDG. L'une fait appel aux SDG pour capturer les contraintes linguistiques d'une grammaire à théorie gouvernement-liage applicable à un fragment de langage naturel.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Dr N. (Nick) Cercone
Directeur, Centre for Systems Science
Simon Fraser University
Burnaby (Colombie-Britannique)
V5A 1S6
Téléphone : (604) 291-3229
Télécopieur : (604) 291-4951
NICK@CS.SFU.CA

Recherches en vision biologique et artificielle à l'Université de Toronto[1]

Par John K. Tsotsos[2]

Aperçu

À l'Université de Toronto (U. de T.), la recherche en vision biologique et artificielle est une activité interdisciplinaire; elle touche divers départements et ses activités sont affiliées à celles de l'Université York. Les débuts de la recherche en vision artificielle à l'Université de Toronto remontent à 1973, avec la thèse (M. Sc.) de Nicholas Roussopoulos, «Abstracting Descriptions from Simple Line Drawings». Ces travaux visaient la décomposition heuristique en segments significatifs de dessins représentant des formes simples par des courbes fermées. Cette thèse donnait suite au travail de Guzman dans ce domaine. En 1975, Norman Badler terminait sa thèse de doctorat «Temporal Scene Analysis : Conceptual Descriptions of Object Movements», qui constitue le premier document d'importance dans le domaine de la compréhension des mouvements évolués. En 1980, John Tsotsos acheva sa thèse de doctorat «A Framework for Visual Motion Understanding», qui poursuivait les recherches amorcées par Badler; l'auteur y formulait un cadre global pour les systèmes de compréhension du mouvement et démontrait les concepts grâce à une application dans un domaine riche et dynamique. Ces thèses ont été supervisées par John Mylopoulos, fondateur de l'Artificial Intelligence Group de l'Université.

En 1980, Tsotsos mit sur pied un groupe formel de recherches en vision au département d'informatique, mais les recherches en vision biologique se poursuivirent pendant quelques années dans d'autres départements de l'Université, principalement ceux de psychologie et de physiologie. En 1983, les départements et le groupe de recherches en vision commencèrent à travailler en étroite collaboration. À cette époque, les professeurs participant aux travaux étaient A.D. Jepson et J.K. Tsotsos, tous les deux du département d'informatique, P.E. Hallett, du département de physiologie, et P. Kolers, du département de psychologie. Environ six étudiants diplômés du département d'informatique travaillaient aux recherches en vision. Depuis, la composition du groupe s'est élargie et ses activités de recherches ont pris de l'importance. S'y sont joint les professeurs H. Kwan (physiologie), G. Moraglia (psychologie), R. Reiter et E. Milios (informatique), G. Hinton (informatique et psychologie) et, depuis peu, D.M. Regan (ophtalmologie, Université de Toronto, et psychologie, Université York). R. Gershon et M. Jenkin, récemment diplômés et toujours à Toronto, font aussi partie du groupe de recherches. Malheureusement, Paul Kolers est décédé en 1986.

Au printemps de 1984, on lançait une série de rapports techniques. Au moment d'écrire ces lignes, 20 rapports avaient été produits, leurs auteurs et co-auteurs provenant des trois départements, ce qui indique jusqu'à quel point les activités sont interdisciplinaires. Ces rapports techniques sont principalement constitués de textes provisoires, publiés ensuite dans le cadre de rapports de conférences ou de publications professionnelles. Actuellement, environ 15 étudiants diplômés participent aux recherches, pour la plupart des étudiants en informatique, mais provenant aussi de plusieurs autres départements. La supervision de plusieurs de ces étudiants diplômés est, comme par le passé, partagée entre les départements.

Le groupe participe à plusieurs activités et en organise quelques-unes également. Peter Hallett organise les conférences universitaires annuelles sur la vision, rendues possibles grâce à une subvention de CAE Electronics Ltée de Montréal. Il s'agit d'une journée de conférences et d'activités gravitant autour du secteur de recherches d'un invité oeuvrant en vision biologique et artificielle. En 1986, l'invité était J.J. Kulikowski, de l'Université de Manchester, et le thème abordé était «Formes et mouvements du niveau primaire». En 1987, A. Burgess de l'Université de la Colombie-Britannique était l'invité, et les conférences portaient sur «Le bruit et le désordre dans la vision». La conférence de 1988, dont l'invité est F.M. De-Monasterio, porte sur «La vision couleur». Le groupe organise aussi des séminaires sur la vision au département d'informatique, ainsi qu'une série de discussions sur la vision qui ont lieu à toutes les deux semaines.

Les principes sous-tendant les recherches du groupe sont simples : pour obtenir des résultats importants et significatifs, on doit considérer valable l'hypothèse qui propose que le traitement visuel de

[1] Reimprimé avec l'autorisation d'*Intelligence artificielle au Canada*. jan.: 17–23; 1988.

[2] John K. Tsotsos est professeur au département d'informatique et enseigne aussi au département de médecine de l'Université de Toronto. Il est membre de l'Institut canadien des recherches avancées.

l'information par l'humain peut être modélisé par l'informatique, ce qui signifie 1) que toute observation biologique appropriée doit être envisagée sérieusement; 2) que tout outil informatique pertinent doit être appliqué au problème, sans se limiter aux mathématiques classiques; 3) que la macro-théorie («vue d'ensemble») et la micro-théorie (analyse détaillée des composants individuels) doivent être étudiés en parallèle, d'une façon complémentaire et coopérative; 4) et que les théories formulées ne doivent pas seulement modéliser les observations connues, mais doivent aussi être capables de prévoir les résultats des expériences des biologistes, ce qui produit un schéma de motivation biologique fermé. Le groupe a comme activité secondaire l'informatique expérimentale, i.e., la mise en pratique et les tests appropriés des théories, et l'application des résultats des recherches en vision à des problèmes concrets.

Chercheurs

Les chercheurs sont Ron Gershon, Centre des systèmes experts de Allied-Signal Canada; Peter E. Hallett, département de physiologie, Université de Toronto; Geoffrey E. Hinton, départements d'informatique et de psychologie, Université de Toronto; Michael R.M. Jenkin, département d'informatique, Université York; Allan D. Jepson, département d'informatique, Université de Toronto; Hon Kwan, département de physiologie, Université de Toronto; Evangelos Milios, département d'informatique, Université de Toronto; Giampaolo Moraglia, département de psychologie, Université de Toronto; David M. Regan, département d'ophtalmologie, Université de Toronto, et département de psychologie, Université York; Raymond Reiter, département d'informatique, Université de Toronto; John K. Tsotsos, département d'informatique, Université de Toronto

Projets de recherches

Détection et mesure rapides des mouvements

N. Lobo (étudiant au doctorat), J. Tsotsos

Pour être utiles, les mesures rapides des mouvements doivent être très précises. Les calculs qui reconstituent les structures et le mouvement 3D sont extrêmement sensibles au bruit. Les techniques du gradient et les méthodes de filtrage spatio-temporelles utilisées pour calculer la vitesse bidimensionnelle perdent de leur efficacité lorsque le mouvement a lieu devant un arrière-plan aux textures très contrastées, lorsqu'il y a de la divergence dans le champ de vitesse, et lorsque l'illumination fait varier la luminance pour des raisons autres que la translation locale d'un segment. Les méthodes de correspondance des marques peuvent régler quelques-uns de ces problèmes, quoique le choix des marques appropriées demeure un dilemme embarrassant. Quelques-uns de ces problèmes sont à l'étude.

Représentation intermédiaire des images

D. Fleet (étudiant au doctorat), A. Jepson

Les travaux antérieurs visaient l'extraction rapide d'information visuelle. L'objet des recherches était de réaliser l'extraction de l'information visuelle riche sans le recours à une interprétation rapide ou à des hypothèses trop contraignantes, ce qui était le cas avec les techniques d'extraction alors utilisées.

Le présent projet examine de plus près les propriétés spatio-temporelles des mécanismes au voisinage du centre dans le traitement rétinien. On s'intéresse donc surtout à la réalisation de filtres efficaces (et simples) pouvant servir à l'extraction des données d'orientation et de vitesse, à partir de l'analyse de Fourier et de la théorie de l'information. On produit maintenant des familles de filtres qui serviront au codage d'images riches et on examine les conséquences de diverses contraintes hypothétiques sur ces représentations. On s'intéresse également à la segmentation et à la représentation des formes. On s'interroge sur ce qui constitue une bonne forme et sur la façon dont un tel concept peut faciliter la distinction figure/sol et améliorer le codage des images.

Modèles de structure d'images et caractéristiques primitives

M. Langer (étudiant en maîtrise), A. Jepson

La première opération réalisée par tout système de vision est la collecte de données sensorielles sous forme de pixels bruts. Puisque le monde est hautement structuré, les images du monde le seront aussi et toute analyse d'image doit exploiter cette structure. La deuxième opération d'un système de vision étant le codage de l'image d'après un ensemble de primitives, ces primitives doivent être choisies en fonction de la structure d'image. L'un des problèmes est la formation et le test d'un modèle de structure d'image. Après, on peut passer aux discussions sur les diverses méthodes de codage d'images par rapport au modèle. Par la suite, la mise en place de contraintes heuristiques auxquelles un modèle de codage doit satisfaire permet de comparer le rendement de divers méthodes.

Notre hypothèse est que pour des contraintes d'usage courant, comme le codage à localisation spatiale et à invariance d'échelle, les méthodes de codage les plus efficaces seront semblables à celles utilisées par la plupart des systèmes biologiques.

Traitement chromatique rapide

A. Jepson, P. Hallett

Une approche relevant de la théorie de l'information sert à étudier l'organisation fonctionnelle du traitement chromatique jusqu'à LGN. Ce choix influe sur le choix de la sensibilité spectrale des capteurs, sur les algorithmes de constance de couleurs et sur l'utilisation d'unités chromatiques opposées simples. L'objectif de ces travaux est de comprendre éventuellement la structure des trajets chromatiques en fonction de quelques principes organisationnels.

Traitement stéréoscopique visuel

M. Jenkin, J. Tsotsos, A. Jepson

Lorsque nous observons le monde, nos yeux voient deux vues séparées de quelques centimètres seulement. Cette légère différence et les faibles divergences d'orientation oculaire traduisent les positions tridimensionnelles des objets dans cet environnement. Des modèles de résolution de ces faibles divergences (stéréopsie) ont été proposés par les chercheurs en vision artificielle et en psychologie. Les modèles actuels n'ont ni la robustesse ni la complexité des systèmes biologiques. Ces études porteront sur le processus de stéréopsie. Les chercheurs croient que les principales prémisses des algorithmes de stéréopsie classiques sont faux et avancent l'hypothèse que la stéréopsie est un processus spatio-temporel. Ils s'objectent à l'extraction de caractéristiques monoculaires complexes comme le passage à zéro, au recours à des contraintes de surface limitatives et au recours à la stéréopsie globale pour produire une carte de profondeur rétino-optique unique.

Une nouvelle méthode de mesure des structures à partir des présentations binoculaires est élaborée; elle établit le lien entre la disparité et le déphasage local à partir de versions en bande passante des images d'entrée. Cette mesure de disparité produit une indication dense et robuste de la structure inscrite dans l'espace sans la nécessité de réaliser de complexes opérations d'extraction des correspondances. Les propriétés spatiales et temporelles de la méthode de mesure de la disparité sont étudiées et on envisage de l'étendre aux capteurs de manière à permettre la construction de détecteurs adaptés aux surfaces comportant une orientation tridimensionnelle propre et à des trajectoires tridimensionnelles propres.

Finalement, les chercheurs étudient comment des mesures robustes de disparité peuvent être intégrées dans une description de l'environnement. Ils identifient deux classes de fausses cibles et proposent des méthodes distinctes pour leur identification et leur traitement. Plutôt que de construire une carte de profondeur rétino-optique propre, ils proposent le recours à une représentation fondée sur les objets et démontrent que même une représentation très simple fondée sur les objets peut servir à simplifier le problème de stéréopsie globale.

Extraction d'égomouvements et de la structure environnementale à partir de séquences d'images

J. Barron (étudiant au doctorat), A. Jepson, J. Tsotsos

Ces travaux portent sur le calcul du mouvement et de la structure à partir de données de vitesse d'image entachées de bruit ou à partir de données de vitesse d'image locale entachées de bruit (les coefficients de la série de Taylor du champ de vitesse d'image). Les deux principaux algorithmes élaborés reconstituent le mouvement de l'observateur et la structure environnementale (données tridimensionnelles) à partir de séquences d'images monoculaires et binoculaires à variation temporelle. Les deux algorithmes sont «unifiés» : l'algorithme binoculaire est ramené à l'algorithme monoculaire si les bases de temps spatio-temporelles sont inconnues ou si les séquences d'images gauche-droite coïncident. Ces algorithmes comportent certaines caractéristiques nouvelles — par exemple le recours aux données temporelles et l'élimination de la nécessité du calcul de la correspondance point-à-point dans des séquences d'images individuelles ou entre paires d'images stéréoscopiques. Une analyse d'erreur poussée étudie la sensibilité des calculs du mouvement et des structures aux divers types d'erreurs d'entrée, y compris les erreurs aléatoires, celles du pire et du meilleur cas, ainsi que l'erreur liées aux différences et aux moyennes de la vitesse d'image. Les chercheurs démontrent que le recours à une formulation quadratique des algorithmes et à la réduction de la matrice jacobienne (entre autres techniques) permet d'étaler la distribution spatio-temporelle des vitesses d'image ce qui réduit l'amplification des erreurs. Parmi les

autres résultats, on compte la présence de solutions doubles et de solutions multiples (non doubles), l'effet de la violation des hypothèses fondamentales des algorithmes, le lien entre l'erreur liée aux vitesses d'image et les coefficients de série de Taylor correspondants, et l'effet du recours à des champs de vitesses d'image normaux (non saturés). Pour le cas binoculaire, les chercheurs étudient aussi l'effet des variations de la ligne de base spatio-temporelle et des montages stéréoscopiques parallèles et non convergents-divergents.

Carte des caractéristiques à auto-organisation

A. Jepson, M. Langer (étudiant en maîtrise), D. Flette (étudiant au doctorat)

Il s'agit d'un projet d'intégration qui prolonge et unifie les résultats des projets décrits plus haut. Il vise à produire, à partir de cartes des caractéristiques d'image, des règles d'apprentissage réalisables sans supervision, fondées sur les principes de la théorie de l'information.

Projet du robot baladeur REx

E. Milios (chef de projet)

Ce projet vise la conception d'un système de compréhension des images qui intégrera une bonne partie des recherches réalisées par le groupe de vision de l'Université de Toronto. La pierre d'achoppement est la tâche de navigation d'un robot équipé d'une caméra dans un environnement de bureau dans lequel se trouvent des gens en mouvement et d'autres objets. La vision de niveau primaire sera réalisée par un ensemble choisi de modules indépendants qui calculent les diverses cartes des caractéristiques rétino-optiques (fondées sur la coordination des images) à partir de la séquence d'images d'entrée. Ces cadres constituent l'entrée de la portion de niveau évolué du système, dans laquelle est réalisée la reconnaissance des objets connus.

Une bonne partie de la recherche nécessaire porte sur la conception des mécanismes de représentation et de raisonnement qui permettent les progrès des techniques de vision évoluée. Il est tout particulièrement nécessaire d'aborder le problème de l'identification des objets partiellement dissimulés et d'améliorer la généralité des représentations d'objets pour modéliser de manière générale les caractéristiques de mouvement et les variations résultantes des formes et de la position. Le niveau évolué incorporera les mécanismes d'attention pour diriger le fonctionnement des modules de faible niveau (les modules à utiliser, la résolution des calculs, la superficie de l'image).

À mesure que le système évoluera, on prévoie y intégrer les travaux d'autres membres du département. Les expériences seront facilitées par la modularité et le soin apporté à la documentation. Greg Dukek, Mike Jenkin, Howie Marcus, Evangelos Milios et David Wilkes fabriquent présentement un prototype de travail qui couvre toutes les étapes du traitement, mais à partir des données de distance plutôt que des données visuelles. Lorsque nous comprendrons mieux les questions liées à la conception d'ensemble du système, les données de distance seront remplacées par les données visuelles.

Théories des formes fondées sur procédés

E. Milios

Monsieur Milios travaille présentement aux implantations matérielles des théories des formes fondées sur procédés pour la description de la croissance ou de l'évolution de formes amorphes. Ses travaux découlent de l'apparition récente des théories psychologiques qui envisagent une forme comme le résultat d'un processus de déformation qui introduit des points d'inflexion et des extrêmes de courbure, et du fait que les méthodes actuelles de concordance des formes sont fondées soit sur des approximations polygonales/polyédriques soit sur la recherche de correspondances exactes entre des formes courbes lissées. Son approche se fonde sur la segmentation et la modélisation de formes polynômiales d'ordre supérieur et sur des tentatives d'associer les segments à des niveaux d'abstraction multiples à partir de représentations fondées sur des courbes. L'établissement des concordances entre les formes est envisagée non seulement comme l'établissement de correspondances entre les segments de deux formes, mais aussi comme l'explication de leurs différences par des procédés à courbes. Ces recherches pourraient éventuellement être appliquées à l'interprétation automatique de l'imagerie spatio-temporelle par satellite aux fins des prévisions météorologiques et à la description de la croissance dans les phénomènes biologiques.

Structure de représentation logique

R. Reiter, A. Mackworth (Université de la Colombie-Britannique)

Ces chercheurs proposent une théorie de la représentation et de l'interprétation qui formalise les

connaissances du domaine des images, les connaissances du domaine de la scène, et la carte de représentation entre les domaines des images et de la scène. Cette théorie est illustrée en précisant certaines connaissances générales sur les cartes, les objets géographiques et leurs relations de représentation en logique du premier ordre avec égalité.

On définit l'interprétation d'une image comme un modèle logique des connaissances générales et la description de cette image. Pour le monde cartographique simple, les chercheurs démontrent comment la spécification du niveau de la tâche peut être raffinée de manière à produire une implantation appropriée démontable en appliquant à la représentation logique des transformations qui préservent le modèle. De plus, ils donnent un aperçu de traitements logiques pour l'introduction de connaissances sur la scène liées à l'incorporation d'images dans le processus d'interprétation, d'obstruction, de descriptions d'images ambiguës et de composition.

Cette approche forme un cadre formel pour l'analyse des systèmes existants comme Mapsee et pour la compréhension du recours aux méthodes de satisfaction des contraintes. Elle peut aussi servir à la conception et à l'implantation de systèmes de vision et de graphisme exacts par rapport aux niveaux de la tâche et de l'algorithme.

Modèles d'automates finis pour la texture corticale

M. Hofmann (étudiant au doctorat en zoologie), P. Hallett, A. Jepson

Ces travaux portent surtout sur la discrimination et la ségrégation des configurations et des textures et sont divisés en deux groupes. Une étude psychophysique avec des observateurs humains vérifiera la capacité de discrimination des configurations par les sujets. La classe de configurations utilisée dans cette étude comporte des réseaux sinusoïdaux superposés et d'orientation diverse. On peut faire varier la fréquence spatiale, l'orientation et le déphasage des configurations de manière à produire une vaste gamme de configurations.

La deuxième partie des travaux vise la réalisation d'une simulation informatique de la physiologie connue du système visuel. Ce modèle sera utilisé pour tenter de simuler les fonctions de discrimination et de ségrégation des textures et des configurations du système visuel. Les résultats de cette simulation seront comparés à ceux obtenus par les observateurs humains dans des configurations similaires.

Évaluation de la perfusion sanguine à partir d'images de la rétine de diabétiques

G. Crookall (étudiant en maîtrise), G. Francis (médecin stagiaire au département de médecine, A. Kurisek (département d'ophtalmologie, Toronto General Hospital), J. Tsotsos

Ce projet développera un système de vision machine pour la quantification et l'identification des configurations anormales de perfusion sanguine à partir d'images de la rétine humaine. Le diabète affecte la perfusion sanguine dans la rétine, ce qui peut causer la cécité partielle ou complète de l'oeil affecté. Parmi les problèmes observables, on compte des variations localisées de la couleur, des variations localisées des textures de l'image de la rétine, des changements de la structure des artères et des variations de la taille et de l'élasticité des artères. Les combinaisons d'anomalies ont aussi des significations propres. Les configurations et caractéristiques de ces anomalies et leurs variations au fil de l'évolution de la maladie font présentement l'objet de nombreux travaux en recherche clinique. Il est toutefois difficile de quantifier les variations de taille ou de texture uniquement par l'observation. On doit donc disposer d'un outil de recherche qui aide à l'évaluation automatique et objective des images rétiniennes. Les anomalies de ce type seront cataloguées et les techniques appropriées seront développées pour l'extraction des caractéristiques d'image et des variations temporelles des caractéristiques, puis pour associer ces caractéristiques aux anomalies liées aux manifestations correspondant à des stades spécifiques de la maladie. Cet outil de recherche permettra aux cliniciens de formuler des hypothèses à propos de l'évolution de la maladie et de ses effets sur la rétine et servira aux analyses quantitatives nécessaires à la comparaison des hypothèses. La structure de commande sera fondée sur celle utilisées pour le logiciel ALVEN développé par monsieur Tsotsos pour l'évaluation de la performance dynamique du ventricule gauche humain à partir d'images prises par rayons X.

Traitement hiérarchique participatif à variation temporelle

E. Shauit (étudiant en maîtrise), J. Tsotsos

La thèse de doctorat de J. Tsotsos, défendue en 1980, décrivait un processus d'étiquetage à relaxation hiérarchique et à variation temporelle, qui a

très bien fonctionné dans cette application. Bien qu'une étude empirique du procédé a été réalisée (à l'époque, il semblait trop difficile de la tester analytiquement car elle était formulée selon l'ancien formalisme de relaxation) et qu'on ait démontré plusieurs de ses propriétés, par exemple les réglages de compatibilité et de convergence en rapport avec la sémantique de l'organisation hiérarchique, plusieurs questions restaient encore en suspens. La question la plus importante est celle de l'établissement des caractéristiques du calcul, c'est-à-dire l'ampleur exacte des calculs réalisés par ce gros système. Le projet en cours tentera de reformuler les calculs sous forme de problèmes d'optimisation et de traiter la question du point de vue de la minimisation de l'énergie. Il est à noter que tous les algorithmes de relaxation antérieurs posent une hypothèse critique qui ne tient pas dans un domaine variable en fonction du temps, c'est-à-dire qu'existe dès le départ une solution initiale qui est «proche» de la solution recherchée. Dans un domaine dont l'entrée varie en fonction du temps et dont la structure soumis au traitement varie aussi en fonction du temps, cette hypothèse est violée la plupart du temps. La formulation antérieure réglait ce problème par le recours à un contrôleur maître qui modifiait et corrigeait continuellement les paramètres systèmes. On prévoit qu'une telle solution restera nécessaire; qui plus est, elle est souhaitable parce que toutes les autres recherches (l'analyse faite par J. Tsotsos du niveau de complexité de la vision) ont démontré que la vision humaine exige justement une composante «attentive» de ce type.

Recours à la courbure dans un système de vision fondé sur modèles

G. Dudek (étudiant au doctorat), J. Tsotsos

Ces travaux étudient le recours à la forme de surface comme aide à la reconnaissance de objets. La quantité mesurable proposée à titre d'indicateur de forme est la courbure de surface locale. On a démontré que dans un environnement à contraintes, on peut obtenir des estimations de la courbure de surface locale à partir des dégradés de nuances de surface. Malheureusement, l'exactitude des paramètres mesurés s'est révélée inadéquate pour la vraie forme de surface, sauf dans les conditions les plus élémentaires. Les surfaces non lambertiennes ou les sources de lumière proches sont parmi les facteurs qui peuvent nuire aux résultats. Les recherches actuelles visent à utiliser les estimations de courbure locale pour classifier des sections de la surface à partir d'un modèle de surface quadrique. Qui plus est, en réalisant cette classification aux diverses échelles auxquelles se produisent les changements de courbure, on pourra observer explicitement divers types de structures concomitantes de surface. Les données de courbure existent explicitement dans le gradient de différence des distributions gaussiennes de l'image. À partir de cette représentation multi-échelle inhérente, la surface peut être classée localement. Après cette classification locale, les mesures doivent être organisées de manière à décrire la surface en termes de sections de superficie variable. On espère pouvoir utiliser des lois topologiques pour aider à ce processus.

Finalement, ces sections de surface à multiples échelles seront reliées en une représentation cohérente de l'objet en 2-½-D. Bien que cette représentation ne reproduira pas entièrement la surface de l'objet, elle devrait contenir les principales caractéristiques structurelles. On prévoit présentement l'implantation d'un processus de reconnaissance des objets fondé sur cette représentation. Il devrait intégrer à chaque échelle certains aspects de l'algorithme de correspondance des contraintes du type Grimson/Lozano-Perez, tout en exploitant la nature multi-échelle de cette représentation par le recours à un paradigme de correspondance entre échelle grossière et échelle fine.

Traitement associatif en vision

D. Wilkes (étudiant au doctorat), J. Tsotsos

Ces travaux visent le développement d'architectures parallèles pour la vision. Les travaux sur les implantations réparties parallèles de diverses tâches de filtrage, d'association et de respect des contraintes indiquent qu'il est plausible qu'une architecture de vision complète puisse être fondée sur des implantations de ce type et sur leurs extensions. Parmi les notions importantes à intégrer à une telle architecture, on compte le recours à l'attention, aux indices perceptuels bidimensionnels et à la représentation des objets par des séquences (ou plus généralement par des graphiques) de zones d'indices séparées par des arcs représentant le passage d'une zone à l'autre. On souhaite obtenir une fonction initiale fiable de reconnaissance des objets sans le recours à la reconstruction de l'orientation de surface ou de profondeur. L'architecture proposée est fondée sur les modèles de vision de Triesman, Tsotsos et Loew. Le calcul parallèle de «cartes de caractéristiques» grâce à des opérations de filtrage simple donne des indices quant à la direction verticale initiale de l'attention

dans les zones d'indices des données d'image. Les éléments de modèle détectés dans les zones d'indices influent sur la direction de l'attention par le phénomène de guidage, c'est-à-dire des bonds d'attention le long des rebords. Les indices déclenchent aussi des associations avec des modèles d'objets mémorisés, ce qui produit donc un effet vertical descendant sur l'attention. La transformation de l'image en coordonnées fondées sur les objets est déterminée en même temps par les correspondances entre les paires d'indices sur l'image et sur l'objet. Les problèmes à résoudre portent surtout sur la représentation des objets. Les indices fiables doivent être combinés de telle sorte qu'il soit possible de représenter les données spatiales tridimensionnelles et d'extraire les modèles associatifs à partir d'un nombre restreint d'indices et de leurs positions relatives dans l'image. On incorporera aussi un recours massif à l'inférence statistique, fondée sur notre expérience antérieure avec ce système.

Analyse de la vision au niveau de complexité

J. Tsotsos

«Les grandes théories» de la perception prêtent facilement le flanc aux critiques, qui paraissent injustes à ce stade du développement du domaine. Il n'existe aucun test qui puisse être appliqué à une grande théorie pour déterminer si des hypothèses fondamentales sont vérifiées. Les travaux de ce chercheur proposent que la satisfaction de contraintes de complexité spatiale et temporelle constitue un des éléments du test auquel doivent être soumis les nouvelles théories de perception visuelle. Ces recherches, toujours en cours, tentent d'établir le lien entre les observations biologiques des systèmes de vision de l'humain et des primates, par le biais de la satisfaction du critère de complexité, une approche nouvelle. Les travaux visent le développement de certains des principes de base des systèmes visuels, la découverte des contraintes imposées aux architectures de systèmes visuels et la production d'une théorie de prédiction, tant du point de vue anatomique que psychologique. Un grand part de l'impulsion qui anime ces recherches vient du secteur de la psychologie. Neisser, par exemple, affirmait qu'une théorie visuelle fondée uniquement sur le parallélisme visuel est vouée à l'échec, parce que le cerveau n'est pas assez gros. Ce qui explique la nécessité du recours à l'attention. Bien que cette affirmation soit vraie, elle ne révèle aucune contrainte utile sur les architectures des systèmes visuels mais suggère les questions importantes de complexité qui n'ont pas encore été adéquatement abordées.

Les questions liées à la complexité du traitement sont vastes et omniprésentes dans le cadre du développement d'une théorie de la perception fondée sur la prémisse voulant que la perception visuelle humaine peut être modélisée par calcul. Puisque la théorie de la complexité est un apport majeur des sciences informatiques, il est tout naturel de l'utiliser dans le paradigme de calcul. On suppose aussi que l'évolution a eu tendance à favoriser les systèmes dont la complexité de traitement est la moins complexe, en fonction de certains principes de conception fondamentaux. Si ces hypothèses sont vraies, l'analyse de complexité devrait révéler des notions fondamentales sur la structure et la performance de la vision humaine. On affirme que la modélisation informatique de la perception et même la modélisation machine de toute question liée à l'intelligence nécessitent impérativement d'envisager la question de la complexité du traitement. L'un des problèmes centraux de l'IA est que les solutions proposées sont très vulnérables au «grossissement d'échelle» par rapport à l'envergure du problème. Les solutions parallèles comme celles proposées par la communauté des connexionistes, bien que fondées sur les facteurs de complexité, n'arrivent pas en général à démontrer l'adéquation de leurs approches aux critères de traitement. Il est à noter de plus que l'application de l'analyse de complexité pour découvrir les limites fondamentales de la capacité de traitement de l'information du système visuel n'est pas du tout mentionnée dans *Limits in Perception* (textes réunis par van Doorn, van de Grind et Koenderink, 1984), document qui passe en revue un grand nombre de méthodes et d'approches de la découverte des limites de la perception.

Trois principaux résultats ont été obtenus par l'analyse de complexité spatiale et temporelle, une méthode qui pourrait être l'une des plus importantes contributions de l'informatique et dont les ramifications théoriques pourraient s'étendre à de nombreuses autres sciences. Tout d'abord, on présente un jeu de contraintes architecturales qui satisfont à la complexité spatiale du système visuel humain et à la complexité temporelle de la vision pré-attentive. Ces contraintes découlent de deux principes directeurs qu'on croit critiques au développement de toute théorie de la perception. Le premier principe veut que l'analyse au «niveau de complexité» est nécessaire pour garantir que les mesures fondamentales d'espace et de

relatifs des connexions reliant les éléments processeurs. Plusieurs théories d'auto-organisation dans les systèmes instables font présentement l'objet d'études.

Dans un gros réseau qui réalise une tâche complexe, les calculs sont très longs pour obtenir une solution unique. Pour réduire la durée des calculs, la répartition des tâches est cruciale. Les unités peuvent être organisées en hiérarchie de cette manière.

Électrophysiologie et psychophysique de l'ouïe et de la vue

D.M. Regan

Ce chercheur travaille dans plusieurs secteurs de recherche : 1) psychophysique visuelle expérimentale et modélisation mathématique des formes à partir du mouvement, stéréopsie, mouvement en profondeur, et couleur (il dispose pour ce faire d'un laboratoire de vision bien équipé, y compris le matériel d'enregistrement des mouvements oculaires); 2) modélisation et psychophysique de l'ouïe; traitement neuronal de la parole et par canaux AM/FM (dans une salle à isolation acoustique); 3) enregistrement magnétique et électrique de la vision, de l'ouïe et intermodal à partir du cerveau humain, au moyen d'un neuromagnétomètre SQUID (dispositif supraconducteur à interférence quantique) à sept canaux dans une salle à blindage électromagnétique; 4) études psychophysiques des troubles de la vision et de l'ouïe et études envisagées sur le potentiel du cerveau et le neuromagnétisme; 5) application de la psychophysique à la coordination main-oeil en aviation et en aérospatiale, grâce à des simulateurs de vol et à des avions à réaction haute performance.

Vision attentive et pré-attentive

G. Moraglia

Les travaux de recherche actuels portent sur des questions liées à la dichotomie pré-attention/attention dans la vision humaine spatiale. Cette dichotomie est étudiée dans le contexte des tâches expérimentales qui exigent la recherche, la détection et la reconnaissance de signaux visuels dans des conditions de bruit intense. Ces travaux visent à contribuer au développement de nouvelles théories sur cette dichotomie. On compte parmi les questions connexes la modélisation de la performance humaine dans le cadre d'analogies expérimentales serrées des tâches de reconnaissance des configurations dans le monde réel.

Traitement de l'information visuelle

G. Hinton

Hinton a travaillé sur des modèles connexionistes de la reconnaissance des formes par invariance du point de vue et sur des modèles généraux de recherche à relaxation dans des réseaux à parallélisme extrêmement élevé. Il s'intéresse présentement aux cadres de référence utilisés par la vision humaine et à la commande moteur et tente de développer des méthodes connexionistes efficaces pour le calcul des transformations de coordonnées entre divers systèmes de référence (par exemple, entre les systèmes de référence rétinocentriques et ceux fondés sur les objets). Il s'intéresse aussi à l'application de procédures d'apprentissage connexionistes sans supervision à la tâche de construction d'une hiérarchie de représentations dans les tâches du premier stade de vision.

Installations de recherche

Chaque membre du groupe peut utiliser nos laboratoires, chacun lui offrant un ensemble unique d'installations de recherche, parmi lesquelles :

- plusieurs machines à symbolique LISP,
- plusieurs affichages couleur avec les processeurs de rangs associés,
- plusieurs systèmes Sun,
- installations de numérisation des images,
- un DEC VAX 11/780,
- des installations d'enregistrement monocellulaires pour primates,
- un tachistoscope monoculaire à quatre champs piloté par ordinateur,
- un tachistoscope binoculaire à deux champs piloté par ordinateur,
- un neuromagnétomètre SQUID à sept canaux avec salle blindée,
- matériel d'enregistrement des mouvements oculaires.

Liste de publications sur les recherches en vision biologique et artificielle

On peut obtenir copie de ces rapports à l'adresse suivante : RBCV Technical Report, Secretary, Department of Computer Science, 10 King's College Road, University of Toronto, Toronto, Ontario M5S 1A4. Plusieurs des résumés repris ici sont parus dans le numéro d'octobre 1987 de cette revue.

Section 5

IA dans le commerce et l'industrie

Acquired Intelligence Inc.

Mots clés : acquisition des connaissances, systèmes experts, systèmes tuteurs intelligents, systèmes d'apprentissage automatique, reconnaissance des configurations, mise au point préventive, induction structurée, décomposition descendante des problèmes.

Acquired Intelligence Inc. (AI Inc.) est une entreprise privée canadienne qui s'occupe de recherche, de développement et de commercialisation de la technologie de l'intelligence artificielle. AI Inc. offre des produits et des services dans le domaine des systèmes experts et des systèmes tuteurs intelligents. Le présent article décrit les activités d'AI Inc. dans le domaine du développement et de l'exploitation de la technologie de l'IA, ainsi que les travaux de recherche et développement en cours au sein de l'entreprise.

L'application des systèmes experts et des systèmes tuteurs intelligents repose sur un élément clé : *l'acquisition des connaissances*. L'un des projets de recherche à long terme d'AI Inc. a permis de réaliser une percée importante dans la technologie de l'acquisition des connaissances. Cette percée est à la base des produits offerts par l'entreprise et constitue un avantage unique pour ses clients. Grâce aux efforts soutenus qu'elle consacre à la recherche et au développement, l'entreprise compte continuer de perfectionner et d'élargir sa gamme de produits et de services.

Produits et services

Outils

AI Inc. produit des outils qui permettent aux experts de construire leurs propres applications de systèmes experts. ACQUIRE™ est un environnement de développement de système expert qui comporte un module d'acquisition des connaissances doté de capacités d'apprentissage automatique, une coquille de système expert, ainsi que divers utilitaires permettant de concevoir et de produire différents types de rapports. Ce système vise d'abord et avant tout à résoudre les difficultés inhérentes à l'acquisition des connaissances des experts, et il est conçu pour permettre à ceux-ci de développer et de maintenir leurs propres bases de connaissances sur des ordinateurs personnels. Ce système est facile à utiliser car son schème de représentation est basé sur des considérations fondamentales à l'acquisition des connaissances. Dans le système ACQUIRE, ce sont les questions d'acquisition des connaissances qui déterminent la nature de la représentation des connaissances, et non la représentation qui détermine la stratégie d'acquisition.

Le système utilise une approche structurée pour guider l'expert dans le processus d'obtention des connaissances, en exploitant ses compétences naturelles de reconnaissance des configurations pour faciliter l'acquisition des connaissances. Étape par étape, les connaissances sont décomposées en sous-tâches que l'expert peut réaliser et qui sont significatives pour lui. L'intégrité de l'expertise est contrôlée par l'expert, et non par un programmeur. Le schème de représentation «convivial» de l'acquisition produit des bases de connaissances extrêmement exhaustives, première étape de la mise au point préventive. Le système incorpore également des fonctions d'apprentissage machine, basées sur les derniers progrès de l'induction structurée, qui permettent d'améliorer l'organisation des connaissances en fonction des suggestions de l'expert. Sont également fournis : une coquille de système expert perfectionnée et optimisée pour le traitement de cas dans les bases de connaissances ACQUIRE et un ensemble d'utilitaires permettant de construire des bases de cas et de concevoir des rapports structurés. Une version modifiée permet d'exécuter les applications mises au point.

On peut utiliser ACQUIRE sans l'aide d'un cogniticien et sans avoir reçu de formation spéciale sur la technologie des systèmes experts. Ce système devrait donc favoriser la prolifération des systèmes à base de connaissances dans tous les types d'organisations. Il a déjà été testé dans des applications très diversifiées : foresterie, industrie minière, analyse de marchés, médecine, aérospatiale, agriculture, et neuropsychologie. Le système est mis en oeuvre en langage C et tourne sur des ordinateurs personnels IBM utilisant les systèmes d'exploitation MS-DOS ou Unix. On a déjà entrepris la conversion à d'autres types de systèmes d'exploitation.

AI Inc. distribue également le système tuteur intelligent LISP mis au point à l'université Carnegie-Mellon.

Applications

AI Inc. développe des systèmes experts visant à résoudre des problèmes particuliers, sous forme d'applications adaptées aux besoins du client ou destinées à des entreprises et des milieux professionnels spécifiques, notamment dans les domaines

suivants : neuropsychologie, psychologie scolaire, hématologie et analyse de marchés.

Services

AI Inc. offre un large éventail de services reliés à l'acquisition des connaissances, aux systèmes experts, à l'apprentissage automatique et aux systèmes tuteurs intelligents : consultation, études et sondages, services éducatifs, études de faisabilité, et développement de prototypes et de systèmes commerciaux. L'entreprise choisit ses contrats de services en vue d'accroître les capacités et le potentiel commercial de ses produits par l'ajout de perfectionnements techniques et de nouvelles capacités et fonctions.

Voici des exemples d'applications : exploitation, industrie laitière; analyse de sécurité; analyse de marchés; fonctions de renseignements militaires (combats); diagnostic vétérinaire; dépistage en hématologie; dépistage en éducation; exploration minière, géophysique et géologie; exploitation d'équipement industriel et analyse des défaillances; neuropsychologie, atteintes cérébrales, problèmes d'apprentissage.

Recherche et développement

Acquisition des connaissances et intégration de l'apprentissage automatique

ACQUIRE utilise actuellement un sous-jeu de fonctions du système d'apprentissage automatique C-DUCE d'AI Inc. pour enrichir certains aspects du processus d'acquisition des connaissances. On travaille actuellement au perfectionnement du système en vue d'améliorer l'application de l'approche d'induction structurée à la résolution de problèmes financiers et techniques (génie), où les fonctions de calcul sont capitales. La version améliorée du système d'apprentissage automatique, qui s'appelera ACQUIRE-MLS, sera exploitée en conjonction avec la coquille du système expert ACQUIRE.

On travaille également à l'intégration du système d'apprentissage automatique amélioré et du module d'acquisition des connaissances. Cette intégration permettra d'utiliser une base de données renfermant des exemples pour construire une première base de connaissances utilisant des techniques d'apprentissage automatique; elle permettra aussi aux experts qui utiliseront ACQUIRE de continuer à élaborer et raffiner la base de connaissances, ou même de la réorganiser. Dans cet environnement, les bases de connaissances renfermeront des connaissances provenant autant de l'expert que de la machine, permettant ainsi d'appliquer la technologie des systèmes experts aux problèmes qui ne peuvent être traités adéquatement par une seule de ces approches. Le système intégré est testé chez MacMillan Bloedel Ltd.

Acquisition de connaissances à partir de textes

Dans de nombreux domaines de l'activité humaine, l'acquisition des connaissances passe par la consultation de documents écrits — règlements, manuels ou documents de référence. AI Inc. et des professeurs du Département de linguistique de l'Université de Victoria participent à un projet de recherche visant le développement d'un système capable de construire des bases de connaissances ACQUIRE à partir de l'analyse de documents écrits. Ce projet met l'accent sur l'acquisition de connaissances tirées de recueils de règlements, comme ceux qui sont produits par les ministères et organismes gouvernementaux. Jusqu'à présent le prototype a servi à élaborer une base de connaissances à partir de l'analyse des règlements visant le stationnement automobile dans la ville de Victoria. Ce genre de système pourrait devenir un instrument très pratique pour l'application et l'interprétation des règlements, et l'amélioration de leur cohérence et de leur rédaction (par exemple, dans les secteurs de la construction et des transports).

Système tuteur intelligent ACQUIRE

AI Inc. a obtenu un contrat du Programme des technologies stratégiques en automatisation et robotique (TSAR) de l'Agence spatiale canadienne pour la construction d'un système tuteur intelligent basé sur le système ACQUIRE. ACQUIRE-ITS permettra aux utilisateurs novices de développer des applications d'apprentissage intelligent dans leur domaine d'expertise. Cet environnement pourra être adapté pour répondre aux exigences de formation des équipages du Système mobile d'entretien (MSS) de la station spatiale ainsi qu'aux besoins de formation de l'industrie canadienne. AI Inc. estime que la prolifération des technologies à base de connaissances repose sur la mise au point d'outils rentables, exploitables sur des ordinateurs à prix abordable et permettant aux experts de développer et de maintenir leurs propres applications. Les applications de tuteurs intelligents sont donc développées directement par des experts qui utilisent des ordinateurs commerciaux à prix abordable.

Le module *Curriculum Author* permet aux experts d'élaborer des programmes d'études composés de leçons, suivant une approche d'étude de cas. Le système est axé sur l'apprentissage pratique. Les

étudiants doivent résoudre des cas concrets qui leur sont présentés par l'expert sous forme de leçons illustrant des concepts importants ou connexes. En inspectant la structure et le contenu de la base de connaissances du système expert, le module Curriculum Author peut également aider l'expert à choisir les cas les plus pertinents à intégrer aux leçons.

Le module tuteur (*Tutoring Module*) suit les progrès accomplis par l'étudiant dans la résolution des cas et construit une représentation des connaissances acquises par ce dernier sous forme de base de connaissances «naïves». Le module tuteur fait graduellement correspondre la base de connaissances naïves de l'étudiant à celle de l'expert, en identifiant les règles erronées, les lacunes dans les connaissances et, surtout, les erreurs de structuration des connaissances (c.-à-d. assemblage erroné de règles), qui révèlent des erreurs d'interprétation quant à l'utilisation de ces connaissances. Le module tuteur accomplit cette fusion en choisissant et en présentant des cas pertinents, à partir des leçons construites par l'expert, afin d'aider l'étudiant à acquérir les bonnes connaissances par la résolution de problèmes concrets. Dans le cas contraire, le module tuteur démontre explicitement les différences entre la base de connaissances de l'étudiant et celle de l'expert.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Dr Beverly J. Smith
Acquired Intelligence Inc.
#205-1095 McKenzie Avenue
Victoria (Colombie-Britannique)
V8P 2L5
Téléphone : (604) 479-8646
Télécopieur : (604) 479-0764

Applied AI Systems, Inc.

Description de l'entreprise

Applied AI Systems, Inc. (AAI) fournit de l'expertise en recherche, conception, mise en oeuvre et implantation de systèmes pratiques d'IA dans les secteurs suivants : administration publique, génie, transports, communications et commerce.

AAI forme des stagiaires à la commercialisation de l'IA à l'échelle internationale ainsi qu'à l'utilisation et à l'application pratiques des outils IA. L'entreprise fournit aussi des services de consultation techniques et commerciaux à ses clients, pendant une période de temps donnée ou sur un sujet en particulier. AAI distribue également plusieurs outils de développement de systèmes AI.

Description de certains projets en cours

Systèmes experts dans le secteur canadien des transports

Avec COGNOS, réalisation d'une étude portant sur l'application de la technologie des systèmes experts au secteur canadien des transports. Publication du rapport *Expert Systems: Their Application in the Transportation Sector.*

Technologies à interaction vocale

Pour le compte de Transports Canada, réalisation d'une étude portant sur l'application des technologies à interaction vocale et en langage naturel dans le secteur des transports. Publication du rapport *State of the Art of Voice Interactive Technology and its Application to the Canadian Transportation Sector.*

Application de l'IA au secteur maritime

Réalisation d'une étude de cas détaillée pour l'automatisation de la navigation, l'utilisation économique du carburant et l'entretien en mer des navires en service. Publication du rapport *A Feasibility Study of Expert Advisors to the Operation of CN Marine's M.V. Caribou.*

État de la recherche en IA au Japon, au Royaume-Uni et en Europe

Publication de comptes rendus de visites à des centres de R-D en IA appliquée.

Informatique de sixième génération

Communications présentées lors du 2e Colloque international sur l'intelligence artificielle et les systèmes experts à Berlin, et à la Conférence sur l'impact de l'intelligence artificielle sur le commerce et l'industrie, au Texas.

Recherche de pointe sur les langages naturels

État de la recherche sur les langages naturels et sur les interfaces multimodales intelligentes aux États-Unis.

Compréhension des langages naturels dans les réseaux neuronaux

Compte rendu des activités de recherche sur les méthodes en langage naturel à base de réseaux neuronaux.

Fusion des paradigmes symbolique et neuronal en IA

Approches pour la mise en relation des paradigmes symbolique et neuronal en IA. Présentation d'un compte rendu, et de communications sur la conception et la mise en oeuvre, lors de AAAI 90.

Applications de systèmes d'IA dans l'administration publique

Communication présentée lors de la troisième conférence de l'IEEE sur les systèmes experts dans l'administration publique, 1987.

Développement et démonstration d'un assistant expert à base de connaissances pour la répartition des véhicules

Prototype mettant l'accent sur le développement d'une interface multimodale efficace destinée aux répartiteurs de véhicules de transport. Communication livrée lors de la Conférence canadienne sur le génie électrique et informatique (1989) et de la séance sur la révolution électronique dans les systèmes de distribution de marchandises, lors de la TRB Conference à Washington.

Démonstration d'un système expert pour l'évaluation des contrats

Prototype de système à base de connaissances pour aider les agents gouvernementaux moins expérimentés à appliquer un ensemble uniforme de règles lors de l'attribution de contrats.

Démonstration d'un système expert pour le transport urbain

Démonstration de l'applicabilité des systèmes à base de connaissances pour la gestion des tableaux de remplacement en transport public. Communication présentée lors de IEEE AI 88 au Japon, et à

la Conférence canadienne sur le génie électrique et informatique, à Vancouver.

Traitement de texte intelligent

Rapport sur les tendances à court et à long terme des technologies informatiques en langage naturel et évaluation des produits vendus dans le commerce.

Application des réseaux neuronaux

Rapport sur les répercussions générales de la technologie des réseaux neuronaux et sur la portée des applications futures.

Véhicules autonomes

Réalisation d'un prototype pour la démonstration d'un système de guidage en temps réel pour les véhicules autonomes. Communication présentée à la IEEE International Robots and Systems Conference (IROS 90).

Jouets intelligents

AAI fait des recherches et des recommandations sur l'implantation des techniques de pointe en IA dans le marché des jouets de l'avenir, en conjonction avec le groupe de recherche Intelligent Insect du Massachusetts Institute of Technology.

Conseiller pour la gestion des ressources dans le secteur maritime (flotte)

De concert avec Fleet Technology Limited, on a approuvé la phase II d'un conseiller destiné à Pêches et Océans Canada, pour les décisions relatives aux programmes d'immobilisations et de F&E (fonctionnement et entretien) en vue d'optimiser l'utilisation des navires.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Ann Griffith
Applied AI Systems, Inc.
Gateway Business Park
340, chemin March, Bureau 500
Kanata (Ontario)
Téléphone : (613) 592-3030
Télécopieur : (613) 592-2333

Recherches Bell-Northern[1]

Par Dick Peacocke[2]

Recherches Bell-Northern (BNR) est le service de recherche et développement de Northern Telecom et Bell Canada, qui compte plus de 6700 employés dans ses laboratoires du Canada, des États-Unis et du Royaume-Uni. Depuis plus d'une décennie, le traitement de la parole et de l'image se situe au coeur des recherches, et le programme d'intelligence artificielle est en cours depuis quatre ans.

Le programme d'IA a pour objet d'étudier et de développer des techniques d'IA compatibles avec les produits et services de BNR et de ses sociétés mères en vue de les intégrer à ses processus de conception et de développement. Un centre d'IA a été créé au début de 1984 dans le but de traiter les questions technologiques de base et d'aider à déterminer et soutenir des applications dans l'ensemble de l'entreprise. Le centre est également chargé des liaisons avec les universités et le gouvernement en matière d'IA. Cette tâche est considérée comme importante, et il est à espérer qu'elle mène dans certains cas à une collaboration.

Les systèmes de télécommunications et d'information sont des produits de premier plan chez Northern Telecom. Leurs perfectionnements de plus en plus grands dans l'avenir ne devront aucunement réduire leur facilité d'utilisation et de gestion. Un principe essentiel aux travaux en IA chez BNR consiste à associer les machines et les humains en vue de l'exécution de tâches complexes.

Chez BNR, nous croyons que bon nombre des tâches qu'exigent l'établissement et l'exploitation de réseaux de télécommunications peuvent s'effectuer à l'aide de systèmes experts, et nous sommes en fait persuadés que ces types de systèmes seront bientôt essentiels pour aider les gens à s'acquitter des tâches complexes que leur imposent les réseaux. On pense par exemple à : la planification et la conception, la réalisation technique, l'exploitation, la maintenance et l'administration.

La complexité d'un réseau de télécommunications s'accroît rapidement à mesure qu'apparaissent de nouvelles fonctions et de nouveaux services, qu'augmente la connectivité et que sont utilisés de nouveaux éléments. Il existe ainsi de moins en moins d'algorithmes tractables pour les tâches indiquées ci-dessus. Les systèmes experts permettent d'implanter des procédures dans des conditions où l'accent doit être mis sur notre expérience et ce que nous savons des situations et des événements qui les entourent, plutôt que sur des algorithmes séquentiels formels. Après avoir articulé et transformé nos connaissances du réseau et de son exploitation afin d'obtenir des représentations appropriées, il nous est possible d'appliquer nos connaissances aux tâches à effectuer. Notre objectif consiste à améliorer la portée et l'efficacité de ces tâches, à améliorer la qualité des travaux exécutés et à réduire les efforts requis. On note alors une incidence sur la documentation et la formation, ainsi qu'une augmentation des possibilités d'absorption des nouvelles technologies.

Le réseau de télécommunications offre un terrain particulièrement fertile pour l'application de systèmes experts, car le réseau et son matériel forment un domaine synthétique très structuré. (On peut par exemple effectuer des comparaisons avec des domaines comme la médecine ou la géologie, dans lesquels les règles d'exploitation sous-jacentes reposent sur des phénomènes naturels qui exigent des descriptions étendues et souvent visuelles.) Le tableau 6 montre certains prototypes à base de connaissances qui ont été fabriqués chez BNR. Au nombre des questions intéressantes, on compte la caractérisation des domaines, l'obtention et la représentation des connaissances, l'élaboration des méthodes, la sélection des outils ainsi que le prototypage et l'essai des systèmes experts.

Deux des entrées du tableau 6 ne représentent pas véritablement des systèmes experts, mais plutôt des travaux en matière de traitement du langage naturel et d'application de l'IA aux techniques du logiciel.

La recherche en matière de langage naturel chez BNR vise un dialogue intelligent opérateur–machine. Le langage naturel a été étudié tant du point de vue des calculs que de celui des comportements. La stratégie utilisée est celle du «système global», qui implique la constitution et l'utilisation de programmes entiers en langage naturel plutôt que la concentration sur des phénomènes isolés. Une interface expérimentale en langage naturel indépendante du domaine a été développée pour un système existant de gestion de base de

---

[1] Réimprimé avec l'autorisation d'*Intelligence artificielle au Canada*, octobre : 32–34; 1988.

[2] Dick Peacocke est directeur du groupe de la technologie des connaissances chez BNR. Il est président de la CSCSI/SCEIO et professeur adjoint à l'Université Carleton. Il détient un doctorat en informatique de l'Université de Toronto.

Tableau 6. Prototypes à base de connaissances chez BNR.

Application	Genre de produits	Fonction
Maintenance de commutateurs	Groupe de commutateurs numériques DMS-100™	Donner des avis de dépannage aux techniciens chargés de faire fonctionner un commutateur téléphonique numérique.
Maintien d'accès	Accès au RNIS	Donner aux clients des avis sur le matériel et les procédures d'accès par boucle.
Surveillance et maintenance	DATAPAC™	Recueillir et analyser les données d'alarme en provenance d'un réseau de commutation de paquets. Recommander les mesures de maintenance appropriées.
Configuration du matériel	Systèmes de communications d'affaires	Transformer les exigences des utilisateurs et des emplacements inscrites sur une formule en matériel, logiciel et configuration détaillés.
Configuration des réseaux privés	Services de transmission de données de Bell Canada	Choisir les services de transmission de données les plus appropriés selon les terminaux des clients, les ordinateurs hôtes, les protocoles, les volumes des transactions, etc.
Conception technique des circuits	Réseau numérique de services spécialisés de Bell Canada	Automatiser le processus de conception des circuits pour certains types de circuits destinés à des services spécialisés.
Techniques du logiciel	Cycle de vie du logiciel DMS-100	Utiliser une base de connaissances pour extraire une entrée de conception de logiciel. Tirer de la documentation, des cas d'essai, des vérifications de conception, etc. de la base de connaissances.
Interface avec le langage naturel	Utilisation avec une base de données relationnelle ou à entité-relation	Fournir un processeur des interrogations de la base de données exprimées en anglais plutôt que dans un langage d'interrogation formel, comme SQL.
Tri du courrier électronique	Systèmes de communications d'affaires	Surveiller le courrier, le trier et lui donner suite, selon les connaissances de l'organisation et des règles personnelles spécifiées par les utilisateurs.

données à modèle entité-relation. Des systèmes à langage naturel interne et commercial ont tous deux servi à étudier le comportement des utilisateurs en interaction avec une base de données opérationnelle. Les questions d'intérêt à cet égard comprennent les différents modes de dialogue, la façon dont le contexte est utilisé et les structures dynamiques de focalisation.

Outre les recherches sur les systèmes experts et le traitement du langage naturel, nous avons examiné des techniques et algorithmes d'automatisation de la conception et du développement des systèmes logiciels ainsi que d'amélioration de la productivité du développement. Ces travaux mettent l'accent sur des domaines d'intérêt particuliers de BNR. Dans le sens où il est employé ici, le terme «développement» englobe toutes les phases du cycle de vie du logiciel, de l'établissement des besoins et des spécifications aux essais, à la diffusion et à la maintenance. Dans ce cas, les sujets d'intérêt incluent le prototypage rapide, les environnements de développement intelligents et la production d'essais automatisés.

Pour ce qui est des environnements de calcul, nous avons utilisé des machines LISP Xerox avec InterLISP-D, KEE,™ Prolog, S.1™ et LOOPS,™ Prolog sur une famille de postes de travail spécialisés à microprocesseur 68000, Prolog et LISP sur gros ordinateur IBM et plusieurs petits interpréteurs de commandes interactifs pour appareils PC et Macintosh.

Référence

1. Ali, Y., Aubin, R. et Hall, B., «A Domain Independent Natural Language Database Interface», *Proceedings 6th Canadian Conference on Artificial Intelligence*, Montréal, Canada, mai 1986, pp. 62–66.

2. Aubin, R., Peacocke, R. et Zlatin, D., «From Specifications to Test Cases: AI in Software Quality», *Proceedings IEEE International Conference on Communications*, Toronto, Canada, juin 1986, pp. 1176–1179.

3. Bult, T., Peacocke, R. et Snarr Carter, V., «An Interactive Expert System for Switch Maintenance», *Proceedings International Switching Symposium*, Phoenix, Arizona, mars 1987, pp. 59–65.

4. Ferguson, I., Rabie, S., Kennedy, J. et Peacocke, R., «A Knowledge-based Sales Assistant for Data Communications Networks», *Proceedings IEEE International Conference on Communications*, Seattle, Washington, juin 1977, pp. 1634–1642.

5. Ferguson, I. et Zlatin, D., «Generic Strategies and Representations for Communications Networks Sales», *Proceedings 7th Canadian Conference on Artificial Intelligence*, Edmonton, Alberta, juin 1988, pp. 249–254.

6. Peacocke, R., «On-Line Expertise for Telecommunications», *Expert Systems for Telecommunications*, Liebowitz, J. (éditeur), John Wiley, New York, février 1988.

7. Peacocke, R. et Rabie, S., «Knowledge-Based Maintenance in Networks», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, volume 6, numéro 5, juin 1988, pp. 813–818.

8. Rabie, S., Bult, T., Snarr Carter, V. et Cavan, B., «DRESS: Diagnostic Repair Expert System Shell», *Proceedings International Conference on Communications*, Philadelphia, Pennsylvania, juin 1988, pp. 1467–1472.

9. Rabie, S., Rau-Chaplin, A. et Shibahara, T., «DAD: A Real-Time Expert System for Monitoring of Data Packet Networks», *IEEE Network Magazine*, septembre 1988.

CAE Électronique Ltée.

Introduction

Les activités de CAE dans le domaine de l'intelligence artificielle ont commencé en 1985, par une évaluation de l'apport potentiel de cette technologie aux besoins et intérêts de l'entreprise, en particulier dans le domaine des systèmes en temps réel. Nous avons consulté le Dr Renato de Mori, de l'Université McGill, pour faire le point sur l'état de la technologie et sur les modes de transfert de technologie les plus efficaces. Ces initiatives ont donné suite à plusieurs projets :

- APACS (Advanced Process Analysis and Control System) : Système d'analyse et de commande avancées des procédés. Ce projet de recherche et développement est réalisé en partenariat avec Ontario Hydro, Shell Canada et l'Université de Toronto; le projet est financé par PRECARN.

- FLITE (FLight Intelligent Troubleshooting Environment) : Environnement d'entretien (diagnostic) intelligent pour les aéronefs. Il s'agit d'un projet de recherche et développement en partenariat avec le CRIM et l'Université McGill.

- ITEMS (Interactive Tactical Environment Management System) : Système de gestion interactive pour environnement tactique. Comporte un composant à base de règles.

- Simulation de contrôle de circulation aérienne : Techniques à base de connaissances pour la reconnaissance de la parole dans le cadre de la formation des contrôleurs aériens.

Ces projets sont décrits en détails ci-après.

En juin 1988, CAE mettait sur pied un groupe spécialisé en IA chargé de mener à terme les projets en cours et de mettre au point de nouvelles applications. À l'heure actuelle, le groupe comprend trois ingénieurs détenant une formation poussée en théorie et technologies de l'IA, et un total de 14 ans de service chez CAE dans les domaines de l'IA, du développement de systèmes, de la simulation et des systèmes de commande/contrôle. Ce groupe maintient des relations de travail avec des chercheurs de l'Université McGill et de l'Université de Toronto.

APACS

Le projet APACS (Advanced Process Analysis and Control System/Système d'analyse et de commande avancées des procédés) est un programme de recherche et développement d'une durée de cinq ans, subventionné par le réseau PRECARN. Les organismes participants sont CAE Électronique, Ontario Hydro, Shell Canada et l'Université de Toronto. Une étude de faisabilité, qui a duré six mois et qui était financée par le réseau PRECARN, s'est terminée en juin 1989. Sur la base des résultats de cette étude, le projet APACS a été approuvé pour financement par le Conseil d'administration de PRECARN.

La problématique

La technologie de commande des procédés en continu, qui était autrefois une série de tâches axées sur l'exécution manuelle, est devenue un système perfectionné d'opérations gérées par ordinateur. Malgré ces progrès impressionnants, l'automatisation des installations industrielles soulève encore d'intéressants défis en matière de recherche et développement. Par exemple, l'exploitation normale des centrales nucléaires canadiennes est actuellement gérée par ordinateur. Mais l'intervention humaine devient nécessaire en cas d'anomalie de fonctionnement car les algorithmes de commande automatique existants ne sont pas toujours en mesure de traiter ces situations.

Les progrès accomplis dans deux domaines techniques en particulier auront une incidence considérable sur l'exploitation et la commande futures des installations de procédés en continu :

1. Il serait possible d'utiliser les techniques de l'intelligence artificielle pour développer des systèmes à base de connaissances capables d'appuyer la prise de décisions techniques, à la manière des opérateurs humains.

2. Grâce à l'augmentation des capacités de traitement des ordinateurs, il serait possible de créer des simulations «plus rapides qu'en temps réel», capables de soutenir le diagnostic en direct et en temps réel des défaillances du système et de prédire le comportement des installations.

Si la mise en oeuvre de plusieurs prototypes et systèmes experts à tâches spécifiques a démontré la faisabilité de l'application des techniques de l'IA dans l'industrie de la production énergétique, le programme de recherche de l'APACS soulève de nombreux défis en ce qui a trait à l'application

généralisée de cette technologie et à l'intégration des systèmes experts aux systèmes de commande traditionnels des centrales.

Objectifs du programme de recherche

Les principaux objectifs du programme de recherche sont résumés ci-après :

- Concevoir et développer des systèmes à base de connaissances pour résoudre des problèmes d'exploitation et de commande dans une centrale électrique.
- Concevoir et développer une installation de simulation avancée — l'analyseur d'installation — pour appuyer le diagnostic en temps réel des défaillances de l'équipement et la prédiction du comportement des installations.
- Concevoir et développer une interface opérateur–machine conforme aux exigences d'exploitation d'un environnement de salle de commande.
- Intégrer ces systèmes à un système perfectionné d'analyse et de commande des procédés pour une centrale.

Importance du projet APACS

Le programme de recherche APACS permettra de résoudre plusieurs questions complexes. On s'attend à faire progresser les techniques de l'IA dans les domaines suivants :

- représentation des connaissances pour la structure et le comportement du système de commande des procédés,
- contrôle d'inférences en temps réel,
- adaptation des outils de construction de systèmes experts pour les applications en temps réel,
- intégration aux systèmes de commande existants et à l'analyseur d'installations.

Une analyse des avantages économiques et un sondage réalisé auprès de certains membres du PRECARN ont permis d'identifier les avantages suivants pour l'industrie de commande des procédés :

- diagnostic plus rapide des défaillances des procédés,
- identification plus précise des indices de malfonctionnement ou de panne éventuels,
- méthodes plus efficaces et informatives de filtrage et de signalisation des alarmes aux opérateurs.

La mise en oeuvre d'APACS devrait entraîner un accroissement général de l'efficacité, de la fiabilité et de la disponibilité des installations de commande des procédés industriels. L'architecture du système sera conçue pour assurer l'applicabilité d'APACS à d'autres types d'installations. En particulier, on a choisi le circuit d'alimentation en eau comme application cible du développement d'un prototype, car ce système est représentatif de la complexité de l'équipement utilisé dans les industries de traitement.

Le projet APACS permettra de réaliser un système combinant des techniques de pointe de l'IA dans un domaine où les problèmes existants ont des répercussions économiques importantes. La commercialisation de cette technologie devrait procurer des avantages supplémentaires.

FLITE

Le projet FLITE est un programme de recherche visant l'application de l'IA dans domaine de la simulation aérodynamique. Il s'agit d'un projet conjoint auquel participent CAE Électronique Ltée, l'Université McGill et le CRIM, sous la direction du Dr Renato De Mori. Le travail à temps plein a commencé en janvier 1986; le CRIM s'est joint au projet en avril 1987.

Les travaux visent la construction d'un système à base de connaissances — le système FLITE — qui aidera les techniciens à vérifier et à mettre au point les modèles aérodynamiques utilisés dans les simulateurs de vol produits par CAE. La vérification consiste à comparer les manoeuvres effectuées dans l'aéronef à celles qui sont effectuées dans le simulateur. En règle générale, au moins une centaine de manoeuvres d'essai en vol sont testées, les données étant enregistrées sous forme de signaux. Si l'on décèle un écart entre les manoeuvres, il faut effectuer une mise au point. On doit alors modifier les coefficients du modèle aérodynamique ou les intrants du simulateur pour obtenir des extrants acceptables sur le simulateur.

Principaux éléments du système FLITE

Les trois principaux éléments du système FLITE sont une interface utilisateur, un programme d'optimisation mathématique et le raisonnement qualitatif. Le système exploite les forces complémentaires

des techniques numériques et des techniques d'IA pour résoudre des problèmes concrets.

Le système FLITE cherche à identifier, dans un champ donné, les défaillances possibles du simulateur et les correctifs possibles. En pratique, la principale difficulté consiste à identifier correctement les relations de cause à effet dans un système extrêmement dynamique et à fort degré de couplage. On fait appel au raisonnement qualitatif sur les causes des écarts pour guider la recherche, en identifiant les paramètres «suspects», c'est-à-dire ceux qui peuvent être modifiés pour réduire les écarts. On utilise des modèles qualitatifs basés sur des équations différentielles linéaires pour représenter les signaux à variation temporelle et leurs interrelations. La représentation qualitative utilise des intervalles à extrémités discrètes et le calcul qualitatif pour évaluer les effets des modifications apportées aux paramètres.

On utilise des techniques d'identification des paramètres pour ajuster les paramètres suspects. Cette approche est basée sur les travaux du Dr P. Bélanger, de l'Université McGill, spécialiste dans ce domaine. Le problème du réglage des paramètres est mis en correspondance avec un problème d'optimisation mathématique et résolu par un algorithme numérique. Les résultats de ce réglage se traduisent par des modifications précises et spécifiques du coefficient aérodynamique ou des intrants qui permettent de réduire les écarts. L'optimisation sera possible et les résultats significatifs, car ils sont basés sur une solution approximative à partir d'un modèle qualitatif.

L'interface utilisateur est basée sur un affichage graphique multifenêtre, avec dialogue à initiative partagée. L'utilisateur peut, en tout temps, accéder à des schémas et des affichages lui permettant de suivre le processus de résolution du problème. Le système FLITE présentera, lorsqu'il le jugera opportun, des affichages à l'utilisateur et lui posera périodiquement des questions pour guider la résolution du problème. Les utilisateurs peuvent répondre immédiatement ou après avoir demandé et consulté d'autres affichages.

Apport du projet à la recherche en IA

Jusqu'à présent, les principaux apports du projet FLITE à la recherche en IA ont été :

- amélioration des techniques de raisonnement qualitatif pour les systèmes à variation temporelle,
- intégration du raisonnement qualitatif et de l'optimisation numérique,
- amélioration des algorithmes de satisfaction des contraintes pour le raisonnement qualitatif.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet FLITE permettront à deux participants d'obtenir des diplômes d'études supérieures : R. Prager, CAE Électronique, obtiendra en 1990 un doctorat en informatique de l'Université McGill, et J. Levine, du CRIM, obtiendra en 1990 une maîtrise en informatique de la même université.

Ces travaux ont déjà mené à deux importantes publications : l'article intitulé «A Knowledge-Based System for Troubleshooting Real-Time Models», de R. Prager, P. Bélanger et R. De Mori, constitue l'un des chapitres de *Artificial Intelligence, Simulation and Modeling*, édité par L.E. Widman, K.A. Loparo et N.R. Nielson, et publié chez John Wiley and Sons, en 1989. L'article intitulé «Perturbation Analysis with Qualitative Models», de R. De Mori et R. Prager, a été présenté lors de la 11e Conférence internationale conjointe sur l'intelligence artificielle, tenue à Détroit (Michigan), en août 1989. D'autres publications sont en cours de préparation.

Outils à base de règles pour la conception de scénarios tactiques

CAE conçoit et développe des systèmes de simulation de missions tactiques pour répondre aux besoins de formation de ses clients du secteur militaire. Ces simulateurs doivent permettre aux concepteurs de scénarios de définir et de modifier facilement les éléments de la simulation dans un environnement de conception hors ligne.

Les travaux du groupe de l'IA dans le domaine de la simulation tactique visent les objectifs suivants :

- développer des outils perfectionnés permettant à un concepteur de scénarios de traduire ses connaissances sur la doctrine tactique en un format naturel, à base de règles,
- rendre les simulations plus réalistes en intégrant à la simulation les processus décisionnels d'agents complexes,
- développer des outils graphiques permettant de surveiller l'exécution de bases de règles.

On travaille actuellement à la réalisation de ces objectifs dans le cadre du projet ITEMS

(Interactive Tactical Environment Management System/Système de gestion interactif d'environnement tactique). Dans la présente version du système, un éditeur de règles et un sous-programme de mise au point interactifs permettent de créer et de modifier les règles exprimant les doctrines tactiques relatives aux mesures de réaction contre les cibles aériennes et aux manoeuvres coordonnées pour les groupes de combat. ITEMS est développé sur des postes de travail IRIS en langage C avec le système d'exploitation X-windows.

Techniques à base de connaissances pour la reconnaissance de la parole

CAE explore l'utilisation des techniques à base de connaissances pour accroître la précision des systèmes de reconnaissance de la parole dépendants du locuteur. Le domaine d'application envisagé est le contrôle de la circulation aérienne, un domaine caractérisé par un environnement à forte intensité de tâches manuelles et visuelles.

En ce qui a trait aux opérations de contrôle de la circulation aérienne, CAE s'est donné pour cible la commande vocale directe des systèmes de soutien opérationnel afin d'améliorer ou de remplacer les processus actuels d'entrée par clavier.

Pour ce qui est de la simulation du contrôle de la circulation aérienne, CAE explore la combinaison de la reconnaissance et de la synthèse de la parole pour aider à automatiser les séances de simulation, en éliminant le besoin de recourir à des pseudo-pilotes humains, c'est-à-dire des instructeurs qui doivent jouer les rôles de pilotes et de contrôleurs.

Le remplacement des pseudo-pilotes nécessitera des recherches et des développements technologiques supplémentaires dans le domaine de la reconnaissance de la parole et de l'IA. À cette fin, CAE examine actuellement le développement et l'intégration de sources de connaissances pratiques afin de :

- définir les contraintes dynamiques pour les réseaux syntaxiques à partir d'informations contextuelles et historiques,
- détecter les erreurs attribuables au système de reconnaissance de la parole ou au locuteur,
- corriger les erreurs de reconnaissance et fournir des messages d'erreurs plus précis.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un contrat pour le Centre de développement des transports de Transports Canada.

Autres activités

Les activités du groupe de l'IA visent deux grands objectifs : perfectionner les produits existants de CAE et améliorer l'efficacité des opérations de l'entreprise. Pour réaliser ces objectifs, CAE cherche à entreprendre des projets de développement spécifiques dans le cadre de contrats et d'applications internes.

Plusieurs propositions de contrats soumises par CAE à ses clients comprenaient un volet en IA dans les secteurs d'expertise de l'entreprise, notamment les systèmes de formation et les systèmes de commande des procédés. CAE compte intégrer des éléments d'IA à sa gamme de produits afin de répondre aux nouveaux besoins de ses clients.

L'entreprise procède à la réalisation d'un sondage sur les possibilités de projets internes comportant l'application de techniques éprouvées de l'IA à la résolution de problèmes spécifiques. On a déjà manifesté de l'intérêt pour les systèmes d'ordonnancement et de configuration. Les travaux devraient commencer au début de 1990.

Canadien Pacifique

Le Canadien Pacifique a commencé à utiliser la technologie de l'intelligence artificielle en 1984 et a développé plusieurs applications faisant appel aux outils et méthologies de cette technologie. Les outils IA servent au développement de prototypes, à la collecte et à l'archivage des connaissances spécialisées, ainsi qu'au développement d'applications. Voici certaines des applications qui ont été mises en oeuvre au Canadien Pacifique :

- *Système expert de diagnostic des défaillances radio* : Cette application a été conçue pour détecter 80 % des défaillances survenant dans les radios Motorola, modèle MT500. Le développement a commencé en 1984 et le système à base de règles (SBR) a été mis en oeuvre à Saskatoon en 1986.

- *Système expert pour l'analyse des lubrifiants* : Il s'agit d'une application de diagnostic qui applique l'expertise des spécialistes des lubrifiants au service de CP. À la suite d'une analyse spectrographique (ou physique) d'un échantillon d'huile à locomotive, on invoque le système expert pour produire une recommandation sur l'état d'un moteur. En fonction des données rétrospectives accessibles par réseau interactif, le système recommande la poursuite des opérations normales, émet un premier avertissement ou recommande de procéder à des travaux de maintenance. Cette application permet d'analyser le lubrifiant d'une locomotive en moins de trente secondes. Le système est installé aux laboratoires de contrôle des lubrifiants dans cinq gares de triage au Canada.

- *Système de block manuel assisté par ordinateur* : Cette application gère la circulation ferroviaire, applique les règles de régulation ferroviaire et dresse la liste des destinations valides pour les trains. Avec ce système, les régulateurs utilisent un terminal intelligent pour exécuter les fonctions de régulation, de planification et de surveillance des trains. Les outils de régulation ferroviaire assistée par ordinateur du Canadien Pacifique jouissent d'un excellent dossier de sécurité depuis leur première installation en 1985. Ces produits gèrent actuellement 32 000 km de voies ferrées en Amérique du Nord; au cours de la prochaine année, ils serviront à gérer 54 000 km de voies ferrées. En réduisant le travail nécessaire à la gestion des trains, le système contribue à réduire le stress imposé aux régulateurs et à accroître la sécurité ferroviaire.

- *«Home routes»* : Il s'agit d'une application pour ordinateur central qui applique les règlements de l'American Association of Railroads à la résolution du problème consistant à déterminer quand les wagons devraient être acceptés sur les voies du CP et comment ils devraient être retournés aux compagnies ferroviaires propriétaires.

- *CHAR* : Il s'agit d'une application pour PC frontal qui permet aux utilisateurs d'interroger en anglais des bases de données emmagasinées dans un ordinateur central. Cette application interprète les interrogations adressées à une base de données DB2 qui renferme les données historiques sur l'entretien des locomotives.

- *Système conseiller pour la reconstitution des données en cas de panne* : Cette application pour ordinateur central recommande une méthode efficace pour reconstituer le contenu des chargeurs de disques, afin de réduire au minimum les interruptions de service. Le système conseiller peut servir à reconstituer les données après les pannes de matériel ou à relocaliser des volumes de données pour améliorer la performance.

Voici certaines des applications en cours de développement au Canadien Pacifique :

- *Système de diagnostic pour locomotives* : Le CP travaille actuellement au développement d'une application de diagnostic intégrant l'expertise des mécaniciens chevronnés qui travaillent dans les ateliers de moteurs diesel et facilitant la détection des défaillances des moteurs diesel 645E3. On fera appel à l'expertise des mécaniciens de quatre ateliers pour produire un ensemble de procédures normalisées. Le système expert identifiera tous les problèmes d'une locomotive amenée à l'atelier de réparation, réduisant ainsi le nombre de visites répétées.

- *Guide pour les préposés au service de dépannage* : Ce système guidera le préposé au service de dépannage en lui fournissant une liste de questions à poser aux personnes qui téléphonent pour signaler des problèmes. Le système pourra également demander au préposé d'effectuer des tests et d'entrer des commandes pour résoudre le problème du client.

- *Simulation d'équipes de travail* : Le CP est en train de développer un modèle de simulation pour aider le service d'ingénierie à établir le calendrier des réparations à effectuer sur les voies ferrées et les dormants. La conception du calendrier des travaux doit permettre de réduire au minimum les retards et les coûts engagés dans la maintenance des voies ferrées.

- *Perfectionnement de la technologie d'accès à l'hypertexte conversationnel (CHAT)* : Cette fonction d'interrogation en anglais sera améliorée pour fonctionner en interface avec les bases de données SAS, les bases de données des systèmes d'informations de gestion et les rapports emmagasinés dans notre système de courrier électronique interne.

- *Système intelligent pour la production de rapports d'occurrence* : Cette application permettra de repérer les renseignements pertinents dans une multitude de rapports disponibles sur notre réseau. Les utilisateurs pourront spécifier les occurrences à rechercher et lorsque ces paramètres auront été satisfaits, les données seront extraites sous forme d'un rapport d'occurrence transmis à l'utilisateur.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Candy Baginski, gestionnaire de projet
Informatique et communications
Canadien Pacifique
40, avenue University, bureau 1200
Toronto (Ontario)
M5J 1T1
Téléphone : (416) 863-8782

CompEngServ

La société CompEngServ, fondée il y a 15 ans, se spécialise dans la production de matériel et de logiciel de pointe. Depuis 1983, elle travaille activement à la résolution des problèmes par le recours à l'IA.

Le savoir-faire de l'entreprise en IA couvre les disciplines classiques de l'IA, comme les systèmes experts, les systèmes fondés sur les règles, les systèmes de planification, les systèmes de vision, la robotique et les réseaux neuronaux. On compte parmi les outils utilisés dans ces domaines les langages de programmation orientés-objet, l'acquisition des connaissances et les techniques de conception du haut vers le bas.

Les employés de CompEngServ ont publié ou lus en public plus de 20 articles sur des projets en IA ou sur les travaux de développement en IA. CompEngServ est considérée comme une autorité mondiale en matière de contrôle de circulation aérienne par l'IA. CompEngServ a aussi travaillé dans les domaines de l'océanographie physique, des finances, des diagnostics, de la gestion des configurations, du diagnostic de qualité de l'air et de la programmation des données pour satellites.

On trouvera ci-dessous un bref résumé des principaux projets.

Système expert de résolution des conflits

Contrat avec Transports Canada

CompEngServ travaille présentement au développement de systèmes experts pour la résolution des conflits en circulation aérienne. Ces systèmes (appelés CORES, de l'anglais «COnflict RESolution») sont destinés au Centre de développement des transports.

Ces systèmes sont fondés sur des recherches antérieures, qui ont permis la mise au point d'un prototype de résolution des conflits ne mettant en présence que deux avions. Le système de la phase II a permis d'étendre ces résultats à plusieurs autres secteurs, y compris l'interface utilisateur, les situations à plusieurs avions et les questions relatives aux conflits provoqués. Le système CORES peut s'appliquer aux espaces aériens dans lesquels la résolution d'un premier conflit peut en produire de nouveaux. Les questions de la convergence des avions provenant d'un espace aérien à conflits provoqués et se dirigeant vers un espace aérien sans conflit sont au coeur du projet. On a aussi étudié des stratégies à contraintes de relaxation pour la sélection de la tactique.

Le système a été implanté au moyen de KEE, le constructeur de systèmes écrit sur LISP. Le système tourne sur un poste de travail Unix à microprocesseur 386, équipé d'un moniteur haute résolution et d'une souris.

Les travaux de la Phase III, présentement en cours, posent le problème dans un environnement radar plus tactique; les questions des contraintes et de la performance sont au coeur de ce projet.

Cette phase est en cours d'implantation sur l'outil de système expert en temps réel Gensym G2, dans un environnement de station DEC en réseau.

Système expert sur le brouillage électromagnétique

Contrat avec Transports Canada

EMIR est un progiciel de diagnostic classique qui compte trois fonctions principales : tout d'abord une série de questions qui tentent de formuler un jeu d'hypothèses sur les causes possibles, puis une série de tests recommandés pour valider ou réduire le jeu d'hypothèses et finalement les correctifs recommandés. Les tests et les correctifs sont tous associés à des données de coûts et le système tente d'offrir à l'opérateur les options les moins coûteuses.

Un des aspects les plus intéressants de ce système est la nécessité qu'il soit utilisable par du personnel technique compétent mais non expert pour la réalisation des diagnostics.

Finalement, le système doit non seulement produire des rapports sur le brouillage, mais aussi sur le processus de résolution des problèmes, qui seront étudiés ultérieurement par un expert central.

Le système a été implanté en Insight 2+, un outil écrit en Pascal. Il contient 150 règles et une base de données très complète.

Système de gestion des données environnementales maritimes

Client : ministère des Pêches et Océans

Le système EDMAN est une interface intelligente avec des données mémorisées, qui comporte une série d'outils pour la manipulation de données adaptées au domaine des données. Ce système peut faire l'objet d'améliorations visant à produire

plusieurs nouveaux outils pour la visualisation et la manipulation des données. EDMAN est destiné à trois types d'utilisateurs. Tout d'abord, les développeurs qui assurent la maintenance du système et y ajoutent de nouvelles fonctions. Ensuite, le technicien responsable de la vérification de la qualité des données avant leur introduction dans la base de données appropriée. Et finalement, le scientifique qui extrait les données de la base de données et effectue les recherches dans ces données.

Chaque type d'utilisateur dispose d'un environnement graphique appelé l'aire de travail. Cette aire de travail contient une boîte à outils avec un jeu de «tiroirs», dans lesquels sont emmagasinés les outils. Ceux-ci peuvent être des systèmes experts, des routines de transformée de Fourier, des fonctions de traçage *x–y*, etc. L'aire de travail contient un établi sur lequel ces outils peuvent être réunis de manière à produire de nouvelles applications. Dans la version actuelle, les données passent d'un outil à l'autre et forment un «pipeline» séquentiel. Toutefois, nous prévoyons permettre éventuellement le recours à des conditions et à des boucles, produisant ainsi un équivalent de programmation graphique très évolué.

La première application produite pour l'environnement EDMAN est le système de mesure de la température, de la salinité et de la qualité (TSAC-QC*). Il s'agit d'une version automatisée du manuel de contrôle de la qualité saline thermique développé par un expert du domaine. Le manuel définit une série de tests en format Si-Alors, afin de déterminer s'il est possible que des données TSAC contiennent des erreurs ou des incohérences. Chaque test est implanté en TSAC-QC sous forme d'outils comprenant un jeu de règles de production à chaînage aval. L'application complète prend la forme d'un outil composite obtenu en reliant les outils originels. Il fournit des conseils d'expert au technicien responsable de l'assurance de la qualité des données avant leur introduction dans le système de gestion de base de données (SGBD).

Le système EDMAN a été implanté en C++ sur un poste de travail VAX 2000 tournant sous VMS. CompEngServ commercialise ce programme partout au monde.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

David G. Bowen, Ing.
Directeur des services techniques
CompEngServ Ltd.
600 - 256, avenue Carling
Ottawa (Ontario)
K1S 2E1

Digital Equipment Corporation

Renseignements généraux sur les activités en IA chez Digital

Digital Equipment, qui a été parmi les premiers utilisateurs de la technologie des systèmes experts, a mis en oeuvre plus de 80 systèmes experts dans les domaines de la planification et de l'exploitation des installations de fabrication, de la conception technique, de l'analyse financière, des commandes et de la configuration des produits, de la distribution, du service sur le terrain, des ventes et de l'analyse des données de commercialisation.

Digital soutient un vigoureux programme de développement de systèmes experts. À l'heure actuelle, l'entreprise réalise des économies de l'ordre de 200 millions de dollars par année grâce aux systèmes experts en place, et ces économies connaissent un taux de croissance annuel de 40 %.

Plus de 600 spécialistes de l'IA travaillent pour Digital à travers le monde, dans les différents services de l'entreprise (fabrication, génie, systèmes d'information, développement de produits et services professionnels). L'entreprise emploie des spécialistes du développement de systèmes experts dans la plupart des grands pays où elle fait affaire, notamment au Canada, aux États-Unis, au Japon, en Europe et en Australie. Le développement et l'application de la technologie de l'IA constituent chez Digital une entreprise d'envergure internationale.

La plaque tournante des activités en IA est située au Centre de technologie IA de Digital, à Marlborough (Massachusetts), où travaillent des spécialistes ayant pour mandat d'appuyer les activités et les professionnels de l'IA à travers le monde. Le Centre compte trois groupes qui se concentrent sur les activités suivantes :

- *Développement de produits* : développement et maintenance d'outils de systèmes experts commerciaux tels que OPSS, VAX LISP, et VAX Decision Expert, ainsi que d'outils internes destinés à des domaines d'application spécifiques, comme le diagnostic et la configuration.
- *Applications internes* : développement d'applications de systèmes experts (tels que XCON, XSEL, MOC, CANBUILD et autres) afin d'appuyer les opérations des divers services de Digital.
- *Services de consultation* : prestation de services de consultation sur les systèmes experts auprès des principaux clients de Digital. Les spécialistes de ce groupe détiennent des compétences spécifiques à différentes industries, comme les procédés industriels, les services financiers et les télécommunications, et ils aident les équipes locales responsables de ces clients à assurer des services tels que l'analyse d'applications, le développement de prototypes, le développement de systèmes, les conseils en matière de gestion et le transfert de technologie.
- *Recherche en IA* : recherche sur les applications de pointe de l'intelligence artificielle et liaison avec d'importants groupes de recherche et des universités.

Formation de spécialistes dans le domaine de l'IA

Reconnaissant très tôt qu'elle devait pouvoir compter sur un grand nombre de cogniticiens compétents et que l'offre ne suffirait pas à la demande, Digital a élaboré un programme de formation en génie cognitif, pour des candidats recrutés au sein des services de l'entreprise ayant à développer des applications de systèmes experts. Cette initiative lui a permis de faire fond sur les investissements déjà consacrés à l'embauche de personnel spécialisé en conception de logiciels et de rendre cette expertise accessible aux autres services.

Ce programme de formation en génie cognitif a été lancé en 1981; il comporte un volet de formation théorique et un volet de formation pratique. Le volet théorique est composé de cours et de travaux de laboratoire dispensés par des employés de Digital et par des instructeurs rattachés aux universités participantes, comme Carnegie-Mellon, MIT et Harvard. Font partie de ces instructeurs : Randall Davis et Patrick Winston du MIT, Marianne LaFrance du Boston College, et Dorothy Lennart-Barton de la Harvard School of Business. Durant le volet de formation pratique, les étudiants développent un prototype d'application de système expert sous la supervision d'un cogniticien chevronné. Les étudiants retournent à leurs unités de travail pourvus de solides bases en technologie de l'IA et d'un prototype d'application avec plan de mise en oeuvre. Plus de 450 étudiants ont suivi ce programme de formation.

En 1987, Digital décidait d'offrir ce programme de formation à certains de ces clients, sous l'appellation «The Digital Business Fellowship in Artificial Intelligence» (Programme de bourses en IA). Plus de 80 clients importants ont inscrit leurs employés à ce programme de six mois, dont 14 stagiaires canadiens.

Applications intégrées de grande envergure

Digital met l'accent sur le développement de systèmes experts de grande envergure, hautement intégrés et mis en oeuvre dans un environnement de réseau réparti. Une équipe de projet type sera composée de 20 à 30 % de spécialistes de l'IA, et de personnes spécialisées dans des technologies complémentaires, comme les bases de données, les réseaux, l'imagerie et l'automatisation industrielle.

Par exemple, les systèmes experts XCON/XSEL de Digital, qui configurent les systèmes informatiques en fonction des exigences du client, sont mis en oeuvre dans le réseau international de Digital, qui regroupe 80 000 usagers. Ces systèmes, qui jouent un rôle crucial dans le fonctionnement de l'entreprise, sont utilisés par tous ses représentants commerciaux à travers le monde pour faire des propositions de prix et soumettre des commandes. Le déploiement de ces systèmes dans un réseau réparti permet de centraliser la gestion des données relatives à la configuration, aux produits et aux prix, et assure la transmission immédiate des modifications à tous les bureaux de Digital à travers le monde.

Projets de coopération au Canada

Digital participe, avec certains de ses clients canadiens, à plusieurs projets de coopération dans le domaine des systèmes experts :

- assistant expert pour l'installation d'un laminoir à froid,
- système pour la gestion des alarmes dans un grand réseau électrique,
- système expert pour la prédiction des orages de convection,
- système d'ordonnancement pour un système de distribution de métal chaud,
- assistant pour la conception assistée par ordinateur des moules pour le coulage par injection,
- système expert pour la gestion des contrats de souscription dans le secteur financier,
- système expert pour la gestion des stocks et l'ordonnancement des commandes,
- programme de formation en IA en milieu de travail,
- système expert pour l'ordonnancement des pipelines de produits pétroliers.

Orientations futures

Digital entreprenait récemment d'abaisser le coût des applications de systèmes experts en réduisant les efforts consentis au niveau du développement. Digital reconnaît que le marché des applications «prêtes à utiliser» connaîtra une croissance considérable, mais que les applications commerciales devront faire l'objet d'adaptations importantes pour devenir des solutions viables pour les clients.

L'une des orientations retenues par Digital consiste à identifier les solutions déjà développées à l'interne ou à l'intention de ses clients, pour des problèmes communs à la plupart des entreprises d'un même secteur industriel. En règle générale, les éléments centraux d'une solution sont applicables à n'importe quelle industrie d'un secteur donné et il est possible d'élaborer une solution pour une entreprise particulière en assortissant la technologie de base de services de consultation spécifiques. Digital a donc développé cette formule pour les applications suivantes :

- vente croisée de produits financiers aux consommateurs en milieu bancaire,
- ordonnancement des pipelines pétroliers et gaziers,
- assurances (biens et accidents),
- analyse des données de marketing.

La deuxième orientation retenue par Digital découle de la constatation suivante : il est souvent préférable de classer les solutions de systèmes experts en fonction de la nature des problèmes (diagnostic, configuration, ordonnancement, etc.) plutôt qu'en fonction des industries. Digital a donc développé des outils et des techniques visant à résoudre certains types de problèmes, outils et techniques qui sont assortis de services de consultation et de formation ayant pour but d'améliorer la productivité des entreprises dans le développement d'une solution adaptée à leurs besoins. Digital offre présentement la formule outils/services dans deux domaines : le diagnostic et la configuration.

Enfin, Digital explore les nouveaux champs d'application de l'intelligence artificielle commerciale en participant à des projets de coopération avec

ses clients. Par exemple, le groupe d'apprentissage automatique de l'entreprise collabore avec certains clients en vue d'appliquer la technologie des réseaux neuronaux, de la reconnaissance adaptée des configurations et de la mémoire parallèle associative à des problèmes tels que la reconnaissance des images, l'extraction de textes, la commande des procédés et le contrôle de la qualité.

Une décennie de leadership en IA

Au cours de la dernière décennie, Digital a joué un rôle de premier plan dans l'application de la technologie de l'intelligence artificielle à des problèmes critiques pour les entreprises commerciales et industrielles. Digital occupe une place de choix pour continuer à jouer ce rôle au cours de la prochaine décennie, au Canada et à l'échelle internationale.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Gordon Graham
Directeur du marketing, Intelligence artificielle
Digital Équipement du Canada Ltée
4110, rue Yonge
Willowdale (Ontario)
M2P 2C7
Téléphone : (416) 730-7308

Hydro-Québec

Les grandes entreprises de production d'énergie électrique peuvent bénéficier grandement de la technologie des systèmes experts.

Pour conférer aux réseaux électriques de bonnes performances de fiabilité et d'efficacité, l'utilisation des technologies les plus puissantes et les plus prometteuses est de rigueur. À ce titre, l'intelligence artificielle, et plus spécifiquement les systèmes experts, pourraient présenter un potentiel intéressant. En effet, la technologie des systèmes experts mérite d'être considérée et évaluée parce que les activités des entreprises productrices d'électricité sont en grande partie de nature cognitive.

Selon Harmon et King, auteurs de l'ouvrage bien connu *Artificial Intelligence in Business - Expert Systems*, les systèmes experts se répandront en deux vagues. La première, qui se poursuivra jusqu'au début des années 1990, est caractérisée par des applications de taille moyenne conçues pour résoudre des problèmes spécifiques. La prolifération de ce type de systèmes aura pour effet de susciter de l'intérêt envers cette technologie tout en contribuant à la formation d'un grand nombre d'ingénieurs cogniticiens, et les premiers bénéfices économiques apparaîtront dès cette étape.

La seconde vague, qui sera caractérisée par des systèmes de plus grande envergure, devrait se faire sentir dès le début de l'année 1992 et culminer vers la fin du siècle. Ces systèmes experts reproduiront plus fidèlement le raisonnement humain et pourront même, à l'occasion, rivaliser avec les experts humains. Cette seconde vague déclenchera une véritable révolution qui remettra en question les fondements mêmes du traitement et de la diffusion de l'information ainsi que des processus de décision.

Ce scénario est confirmé par les études prospectives sur l'évolution du marché des systèmes experts. En effet, un prestigieux cabinet d'experts-conseils britanniques prévoit, pour le Canada et les États-Unis seulement, que la croissance du marché sera de 660 % entre 1986 et 1992. Ceci représente, en 1992, un marché de 1,9 milliard de dollars US pour les logiciels et les matériels reliés aux systèmes experts.

Des chercheurs de l'Université Carnegie-Mellon et de l'EPRI, des spécialistes des réseaux électriques japonais, ainsi que des chercheurs d'Hydro-Québec ont tenté de jauger le potentiel des systèmes experts dans les entreprises productrices d'électricité. Les conclusions suivantes peuvent être dégagées de leurs études :

- Le potentiel d'utilisation des systèmes experts dans ces entreprises est déterminé par le savoir-faire de leur personnel, et le bénéfice est pratiquement illimité;
- Les applications existantes ont un caractère partiel et ne s'inscrivent généralement pas dans les plans directeurs;
- La majorité des applications existantes sont à caractère expérimental;
- Les domaines exploités à ce jour ne constituent que la pointe de l'iceberg.

Dans les entreprises productrices d'énergie électrique, les applications courantes de systèmes experts se retrouvent dans les domaines de la planification, du diagnostic de réseaux, du diagnostic d'équipements, de l'ingénierie et de la conception, de l'aide à la décision et de la formation.

Le réseau d'Hydro-Québec

Hydro-Québec disposait, au début de 1988, d'une puissance installée de 25 000 MW, dont 93 % provenaient de centrales hydro-électriques. En 1987, les ventes totales se chiffraient à cinq milliards de dollars. Le réseau de transport est constitué de 33 000 km de lignes, dont le tiers sont des lignes à 735 kV. Le réseau de distribution comporte 99 000 km de lignes. Des projets en cours ajouteront 3000 MW à la puissance installée.

Processus de sélection de projets

À Hydro-Québec, le processus de sélection de projets de systèmes experts débute par une analyse des problèmes candidats, à l'aide de certains critères préétablis. Deux questions fondamentales se posent alors :

1. Le système expert est-il faisable?

2. Le système expert sera-t-il utile?

Pour parvenir à des réponses cohérentes, deux grilles d'évaluation ont été élaborées. La première vise à éliminer les projets auxquels la technologie des systèmes experts ne convient pas. La seconde sert à établir la valeur relative des différents projets considérés.

Première grille : le système expert est-il faisable?

- Le problème est-il de nature heuristique et difficile à résoudre par les méthodes algorithmiques conventionnelles?
- L'expertise est-elle disponible localement?
- Cette expertise est-elle reconnue par les utilisateurs?
- L'ingénierie de la connaissance est-elle disponible?
- L'infrastructure informatique existe-t-elle?
- La taille du système est-elle raisonnable?
- Le niveau de difficulté est-il abordable?

Deuxième grille : le système expert sera-t-il utile?

- Le système expert est-il justifié? Procurera-t-il un avantage économique marqué et quantifiable? Est-il conforme au plan de développement de la Société?

- Le système expert est-il nécessaire? Est-il nécessaire de rendre l'expertise accessible à un plus grand nombre d'utilisateurs? L'expertise est-elle en voie de disparition? Y a-t-il un besoin de formation? S'agit-il d'un besoin d'expertise en milieu dangereux?

Projets de systèmes experts d'Hydro-Québec

TRANSEPT : Système expert pour la conception préliminaire d'un réseau de transport

La planification des équipements d'un réseau de transport repose sur une base de connaissances très vastes, qui se trouve dispersée dans la Société. TRANSEPT est un outil de conception préliminaire permettant d'établir plusieurs solutions de rechange. Il tient compte du nombre de lignes, de leur tension, de la compensation et de la marge de stabilité du réseau, tout en permettant à l'utilisateur d'évaluer l'incidence financière de ces différents paramètres.

TRANSEPT vise la sélection d'un nombre réduit d'alternatives capables d'aider le concepteur à différentes étapes de la conception. Le schéma de principe de TRANSEPT apparaît à la figure 4. Ce système expert est en mesure d'intégrer des modèles algorithmiques et des modèles de simulation aux connaissances et à l'expérience de l'expert.

Les explications fournies par TRANSEPT sont d'une grande utilité pour faire accepter par l'utilisateur les variantes proposées, ainsi que pour la formation de nouveaux experts dans le domaine de la conception de réseaux. Le prototype de TRANSEPT a été terminé en 1988 et il est actuellement en cours de validation.

SEPIDE : Système expert pour l'interprétation des événements

Hydro-Québec dispose d'une base de données volumineuse conçue pour détecter et enregistrer en détail tous les changements d'état qui surviennent dans les équipements du réseau de transport. Après un événement, les changements d'états enregistrés dans cette base de données sont analysés par le système expert SEPIDE, qui produit une explication de l'événement permettant d'évaluer la situation. Cette activité s'avère essentielle pour que la Société puisse maintenir le haut niveau de fiabilité qu'exige la clientèle. De plus, la planification des activités d'entretien est entièrement tributaire des résultats de ce type d'analyse.

Le projet SEPIDE a pour but d'automatiser l'analyse en temps réel et en temps différé des événements qui surviennent sur le réseau dans le cadre des activités d'exploitation normales, et dont 70 % se produisent de façon automatique. La figure 5 montre la base de données qui regroupe les enregistrements chronologiques d'événements (ECE) et qui constitue l'intrant principal du système. Le prototype de SEPIDE a été développé en

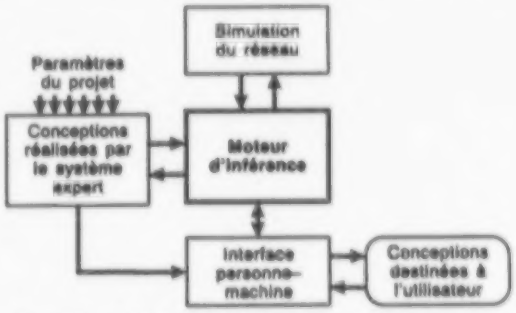


Figure 4. Schéma de principe du système expert TRANSEPT.

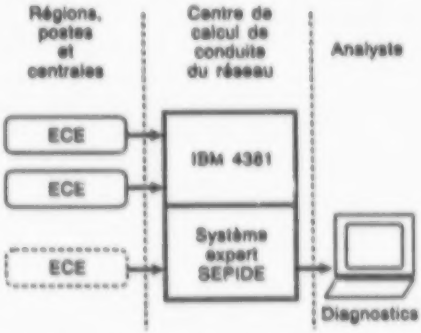


Figure 5. Schéma de principe de l'environnement d'exploitation du système expert SEPIDE.

1987 pour établir les principes de base du système et en démontrer la faisabilité. Actuellement, un projet pilote de SEPIDE est installé en vue d'en assurer la validation.

Système expert pour la gestion des alarmes

La tâche des opérateurs des centres d'exploitation régionaux (CER) devient de plus en plus exigeante à cause de l'augmentation de la complexité des installations ainsi que de l'accroissement substantiel du volume d'information en provenance de ces installations. Lorsque des défaillances d'équipements se produisent, les opérateurs des CER doivent analyser rapidement les séquences d'alarmes et de changements d'état afin d'établir les diagnostics de pannes. Ces diagnostics leur permettent de prendre les mesures nécessaires pour remettre le réseau en état.

Or les opérateurs sont fréquemment confrontés à des problèmes d'analyse complexes exigeant plusieurs minutes de réflexion. Ces délais affectent la qualité du service à cause des pannes qui se prolongent. De plus, ces pannes risquent de se propager si les actions appropriées ne sont pas entreprises rapidement.

Le système de gestion des alarmes, illustré à la figure 6, est conçu pour améliorer la gestion des messages d'alarmes et de changements reçus dans les centres d'exploitation régionaux (CER). À partir des séquences d'alarmes et de changements d'état, le système expert établit, automatiquement et en temps réel, des diagnostics concis identifiant l'origine et les conséquences d'une perturbation. Ces diagnostics permettent aux opérateurs des CER d'accélérer leur analyse et de gérer de façon plus efficace les informations qui leur parviennent. Le projet pilote a été terminé en mars 1989. Le système expert traite actuellement les alarmes provenant d'une douzaine d'installations de la région Maisonneuve en vue d'assurer sa validation dans un milieu réel d'exploitation.

SEDA : Système expert de diagnostic d'appareillage

Le projet SEDA témoigne des efforts qu'Hydro-Québec consacre à la recherche de moyens de plus en plus raffinés pour déterminer ou diagnostiquer l'état des appareils en service. À cette fin, des systèmes d'entretien préventif, de gestion et de surveillance ont été élaborés ces dernières années. Les avantages de ces outils apparaissent évidents. Aujourd'hui, la décision de développer un système expert pour le diagnostic des transformateurs de grande puissance repose sur l'existence d'une grande expérience dans la résolution de problèmes spécifiques à ce type d'appareils qui découle des observations et des règles élaborées au fil des ans. Cette expertise doit maintenant être transmise aux gestionnaires et aux chefs d'équipes d'entretien.

Le système expert SEDA, dont le schéma de principe apparaît à la figure 7, est en cours de développement à Hydro-Québec. Il est spécifiquement conçu pour diagnostiquer les phénomènes se produisant dans les transformateurs de grande puissance lors des déclenchements automatiques.

SUBAREX : Système expert pour la surveillance des barrages

La surveillance des barrages est une tâche qui relève des intervenants régionaux. Cependant, l'expertise en matière de conception et d'analyse de comportement est répartie entre diverses unités de la Société, dont celles du siège social. Il en résulte des échanges multiples d'informations à la suite des inspections sur le terrain d'une part et des évaluations, conseils et propositions de solutions d'autre part.

SUBAREX, illustré à la figure 8, constituera un outil de diagnostic capable d'évaluer l'état de la sécurité des barrages en terre à partir des observations et des données d'auscultation. Cet outil, dont une première version sera destinée aux inspecteurs, servira au personnel des régions pour prendre des

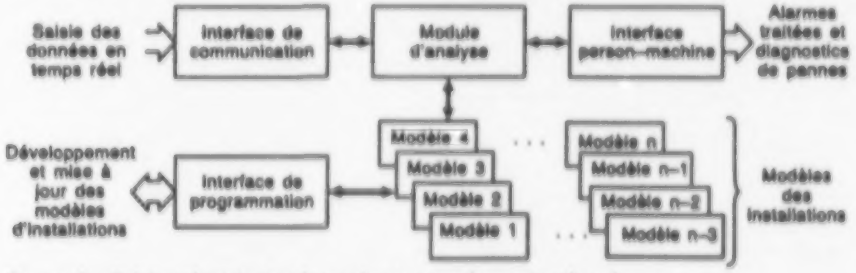
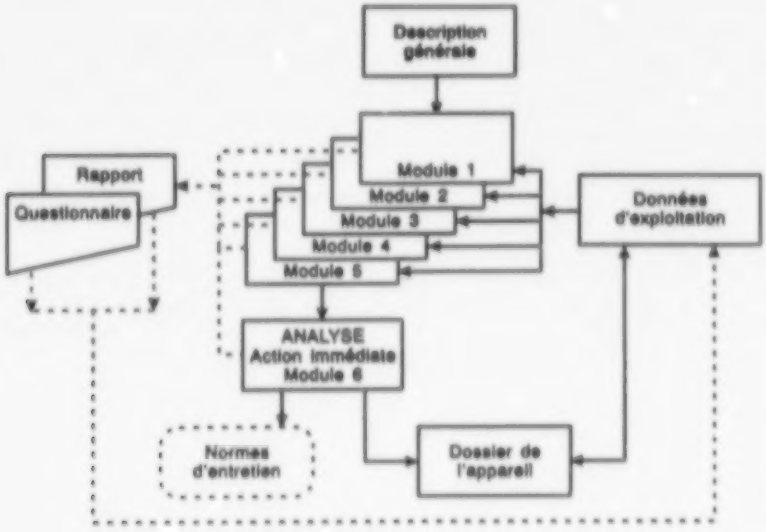


Figure 6. Schéma de principe du système expert de gestion des alarmes.



Module 1 : État des appareils
Module 2 : Données d'inspection
Module 3 : Essais—fluides isolants
Module 4 : Essais—appareillages
Module 5 : Remise en état

Figure 7. Schéma de principe du système expert SEDA.

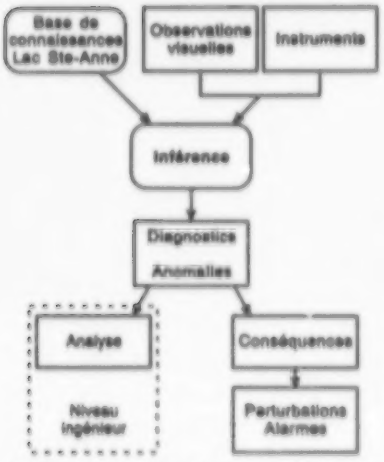


Figure 8. Schéma de principe du système expert SUBAREX.

décisions dans les plus courts délais possibles, et ce, dans un encadrement technique à haute expertise. Une version ultérieure sera destinée aux ingénieurs pour faciliter leurs évaluations de la sécurité structurale et opérationnelle des barrages et pour suivre l'évolution de leur comportement. Un pré-prototype servant à la démonstration de faisabilité du système est actuellement en cours de réalisation.

ENERGEX : Système expert pour le modèle ENERGIE III

Le modèle ENERGIE III est utilisé pour simuler le fonctionnement des complexes hydro-électriques. L'étalonnage préalable à son utilisation nécessite un effort important et une grande expertise.

Le système expert ENERGEX, dont le schéma de principe apparaît à la figure 9, vise la concentration d'expériences diverses et intuitives sous forme de règles précises pour faciliter l'utilisation du modèle ENERGIE III tout en assurant l'obtention d'une solution quasi optimale en termes d'énergie garantie produite. ENERGEX procurera des économies substantielles en accélérant le cycle de conception des complexes hydro-électriques. Un pré-prototype a été évalué et validé et le prototype est actuellement en cours de réalisation.

EXSEMBLE : Système expert pour la réalisation d'un plan d'ensemble

La conception de postes fait appel à des connaissances très diversifiées, partiellement normalisées et disséminées dans la Société. Dans une première étape, EXSEMBLE unifie cette expertise et exploite un logiciel de conception assistée par ordinateur

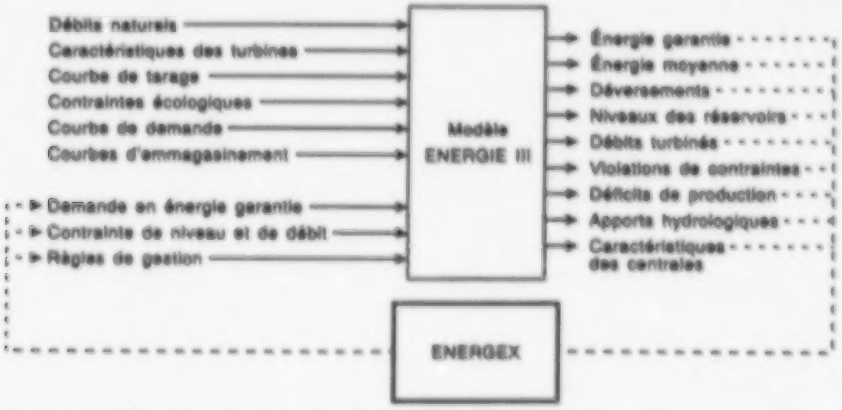


Figure 9. Schéma de principe du système expert ENERGEX.

(AUTOCAD) pour réaliser le plan d'ensemble d'un poste 120-25 kV de type II.

EXSEMBLE, dont le schéma de principe apparaît à la figure 10, constitue un lien interactif entre la base de connaissances et le logiciel de conception assistée par ordinateur.

En tant que premier prototype de ce genre, le projet EXSEMBLE ouvre une avenue qui peut s'avérer très prometteuse pour assurer dans l'avenir un soutien intelligent à la conception assistée par ordinateur, et cela, pour l'ensemble des activités d'ingénierie utilisant une forte concentration de normes et de standards.

SAGE : Système expert pour la gestion des échanges

La gestion des échanges avec les réseaux voisins comporte une grande quantité d'informations qui doit être traitée en temps réel par les répartiteurs. Le système expert SAGE a pour but d'appuyer la gestion des échanges tout en maximisant les revenus des ventes et en réduisant au minimum les coûts d'achat et les pénalités contractuelles. De plus, SAGE uniformisera les approches et les stratégies de gestion des échanges tout en assurant une grande flexibilité par rapport aux nouvelles contraintes et stratégies et aux nouveaux outils de calcul.

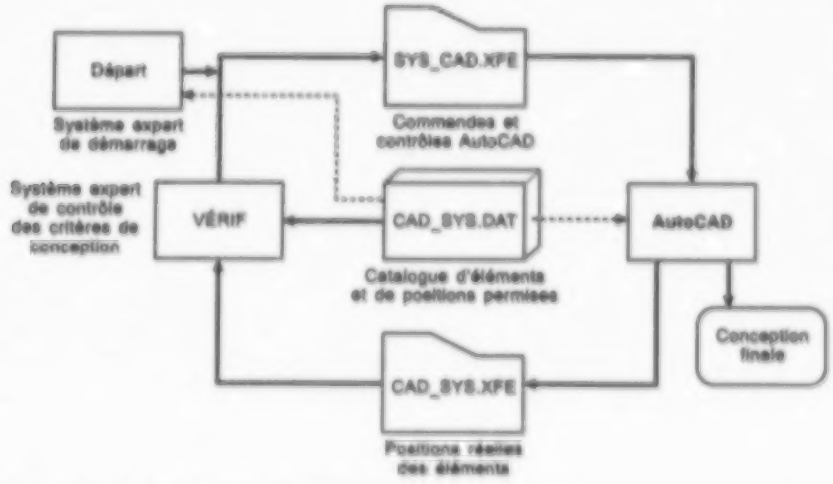


Figure 10. Schéma de principe du système expert EXSEMBLE.

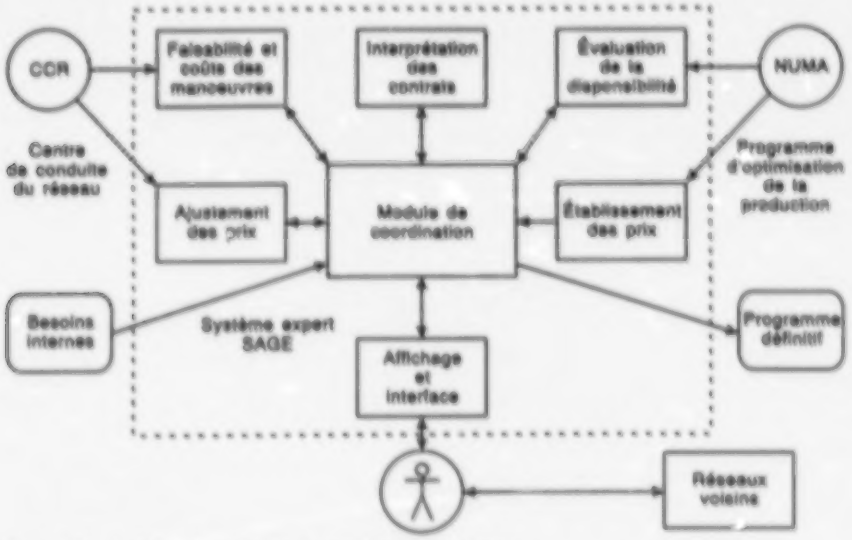


Figure 11. Schéma de principe du système expert SAGE.

Le système expert SAGE, dont le schéma apparaît à la figure 11, utilisera des informations en temps réel en provenance du centre de conduite du réseau (CCR), un plan de gestion de la production établi par le modèle mathématique NUMA, ainsi que des règles reflétant les clauses des contrats d'échanges, et les normes de gestion d'Hydro-Québec. À l'aide de ces informations et de ces règles, SAGE établira le programme d'échanges définitif.

Outils de développement

Un des problèmes les plus épineux qui doivent être résolus lors de la réalisation de systèmes experts est celui du choix des outils de développement. En effet, ces outils ont une incidence majeure sur la qualité du système développé, particulièrement en ce qui concerne sa convivialité et sa performance.

Afin de permettre aux concepteurs de faire un choix éclairé, Hydro-Québec a établi une méthode de sélection des outils comportant deux grilles. La première concerne l'ingénieur de la connaissance et la seconde se rapporte à l'utilisateur du produit fini.

La première grille, qui concerne le cogniticien, sert à comparer les propriétés du problème à résoudre aux caractéristiques des outils envisagés. Elle porte sur les éléments suivants :

- la représentation des connaissances : les règles de production, la logique des prédicats, les réseaux sémantiques, les cadres sémantiques («frames»);
- le contrôle : le chaînage avant, le chaînage arrière, le chaînage mixte, le chaînage bidirectionnel, l'architecture tableau noir;
- la logique : l'utilisation des variables, le traitement des négations, etc.

La deuxième grille, qui concerne l'utilisateur du système expert, porte sur les éléments suivants :

- la convivialité;
- les explications : explications du raisonnement et justification des conclusions;
- les interfaces : interfaces graphiques, interfaces vers les bases de données, listes conditionnelles («signaux»), etc.

Les caractéristiques des outils considérés sont évaluées au moyen de coefficients de performance déterminés à l'aide de ces grilles. Ces coefficients sont ensuite utilisés pour comparer les outils candidats aux caractéristiques du problème à résoudre. En même temps, Hydro-Québec cherche à réduire le nombre d'outils utilisés afin d'en réduire l'incidence budgétaire et de limiter les besoins en formation des cogniticiens. Quoique très préliminaires, les graphiques prix-performance

publiés par Harmon, Maus et Morrissey dans leur ouvrage *Expert Systems — Tools and Applications*, constituent un guide intéressant dans le choix des outils de développement.

Le tableau 7 montre les outils qui ont été choisis pour les projets mentionnés dans la présente communication. On y remarque une polarisation autour de certains outils. Les expériences ultérieures, l'évolution des projets, la réaction des utilisateurs ainsi que l'apparition de nouveaux outils sur le marché pourraient contribuer à une modification de ce cliché. De même, l'évolution dans la connaissance du problème entre le moment de l'étude de faisabilité et celui de l'implantation du produit fini peut imposer une modification du choix de l'outil, notamment après l'étape du prototype. De plus, dans certains cas, il y a lieu d'envisager un environnement de développement différent pour le développement et pour l'exploitation.

Tableau 7. Outils utilisés pour les systèmes experts développés par Hydro-Québec

Outils	Systèmes experts
Goldworks	ENERGEX
	SUBAREX
	TRANSEPT
OPS 83	Gestion des alarmes
Rulemaster	EXSEMBLE
	SEDA
	SEPIDE

Tous ces systèmes experts ont été développés sur des ordinateurs de type 386, à l'exception du système expert de gestion des alarmes, qui a été développé sur MicroVAX-GPX, ainsi que SEPIDE qui a été développé sur HP 9000.

Organisation

Dans *Expert Systems in the Workplace*, O'Farrell mentionne quatre critères qui doivent être respectés pour assurer la réussite du développement et de la mise en service des systèmes experts dans les entreprises de services publics. Ces critères sont :

1. la sélection judicieuse des projets assortis de mandats comportant des objectifs précis;
2. l'importance accordée à l'expert du domaine;
3. la présence d'un «champion» dédié à la cause;
4. la structure de l'organisation.

À Hydro-Québec, les critères (1) et (2) ont été satisfaits dès le départ par l'élaboration des grilles de sélection mentionnées plus haut, ainsi que par le caractère multidisciplinaire des équipes de projet qui regroupent sous une même autorité l'expert du domaine, l'utilisateur et le cogniticien. En outre, Hydro-Québec porte une attention particulière à l'élaboration de mandats clairs et bien documentés comportant des objectifs précis.

Un groupe de travail «systèmes experts» a été mis sur pied. Il est composé de personnes très motivées provenant de diverses unités administratives de la Société. Cette structure horizontale facilite les communications et prévient la concurrence entre les professionnels et entre les unités administratives. En conséquence, les critères (3) et (4) se trouvent aussi satisfaits.

Le groupe de travail «systèmes experts», dont la structure apparaît à la figure 12, a pour mission d'entreprendre et d'exécuter des actions concertées visant à introduire la technologie des systèmes experts dans les principaux domaines d'activités de la Société. Sa mission comprend la sélection, le développement, l'implantation et la commercialisation des systèmes experts dans les domaines reliés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité.

Le groupe est dirigé par un comité directeur constitué de représentants occupant les plus hauts niveaux hiérarchiques des unités administratives participant à la réalisation des systèmes experts. Ce comité relève du vice-président, Développement technologique et Commercialisation.

Un comité technique, formé de gestionnaires représentant les principales unités administratives participant aux projets de systèmes experts, assure l'orientation des activités courantes du groupe de travail «systèmes experts». Enfin, la responsabilité des activités courantes du groupe de travail est confiée à un chef de projet.

Bien que fonctionnant dans un cadre hiérarchique, cette structure souple permet l'établissement de liaisons horizontales favorisant le dialogue entre les intervenants sans qu'il soit nécessaire de faire constamment appel à la structure hiérarchique. Ces aspects administratifs sont apparents dans l'agencement même des modules constituant le groupe de travail «systèmes experts». Ainsi, sa structure principale comporte un module «projets»

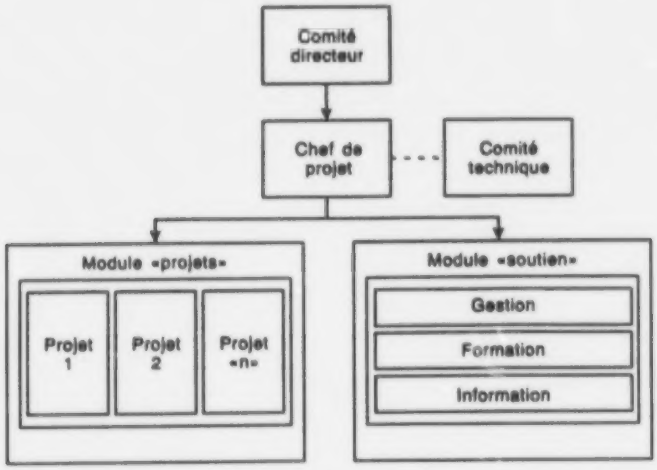


Figure 12. Structure du groupe de travail «systèmes experts».

ainsi qu'un module «soutien», où sont concentrées les ressources humaines oeuvrant à un projet ou à une activité de soutien. Des personnes appartenant à diverses unités administratives y sont regroupées en fonction des tâches à accomplir.

Le module «projets» regroupe toutes les activités reliées à la réalisation des systèmes experts. Les équipes de projets sont dirigées par des ingénieurs de projet. Chaque équipe de projet est constituée de cogniticiens, d'experts du domaine et d'informaticiens qui sont affectés au projet au moment de l'établissement du mandat d'étude.

Le module «soutien» englobe les activités de formation, de gestion des projets (planification, suivi, contrôle des coûts, etc.) et de diffusion dans la Société de l'information relative à la technologie des systèmes experts. Les participants à ces activités sont délégués par leurs unités administratives respectives selon un mandat spécifique.

Conclusion

En conclusion, nous pouvons affirmer qu'une entreprise de production d'énergie électrique de la taille d'Hydro-Québec ne peut que bénéficier grandement de la technologie des systèmes experts. Cette conclusion repose sur les observations suivantes :

- Le potentiel d'utilisation des systèmes experts à Hydro-Québec est très étendu.
- La Société dispose d'une multitude d'experts dans les domaines d'activités qui lui sont spécifiques.
- Hydro-Québec dispose de ressources importantes dans le domaine de l'informatique scientifique, ce qui constitue un important potentiel d'ingénieurs de la connaissance.
- Hydro-Québec doit absolument maîtriser cette technologie qui, dans la prochaine décennie, touchera la majorité des activités reliées au traitement de l'information.

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos remerciements à MM. Toby Gilsig, Elie Saheb, Roger Beauchemin, Paul Chicoine, Oscar Dascal, Sergio del Pozo, Réal Galipeau, Jean-Louis Jasmin, Miguel A. Marin, Donald McGillis, Jean-Marc Pelletier et Gia Tong Vuong pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à la préparation de ce document.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Radu Manoliu et André Lemire
Hydro-Québec
455, René Lévesque boulevard ouest
Montréal (Québec)
H2Z 1Z2
Téléphone : (514) 289-3877
Télécopieur : (514) 874-0810

Activités de MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. dans le domaine de l'intelligence artificielle[1]

Par Max Krause[2]

Introduction

MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. (MacDonald Dettwiler) est un chef de file mondial dans le secteur des technologies de télédétection, notamment en ce qui a trait à la réception et au traitement des images captées par satellite. McDonald Dettwiler a développé et installé des systèmes partout dans le monde pour la réception et le traitement des données sur les ressources terrestres saisies par des satellites comme LANDSAT et SPOT, des données provenant de satellites météorologiques en orbite géosynchrone et quasi-polaire, et des radars à ouverture synthétique (SAR). Depuis sa fondation en 1987, l'entreprise s'est efforcée de prévoir l'avènement des technologies de pointe, de les développer et de les utiliser dans ses produits. L'intelligence artificielle est l'une de ces technologies qui semblent destinées à faire partie des outils essentiels de toute entreprise de pointe, comme c'est actuellement le cas chez MacDonald Dettwiler.

Au cours des quelques dernières années, les applications de l'IA sont devenues un élément de plus en plus important du programme de recherche de MacDonald Dettwiler. Avec l'ajout de cinq travailleurs en IA, le secteur des systèmes à base de connaissances constitue un élément important et croissant de notre équipe et de nos activités de recherche.

Deux des projets entrepris jusqu'à présent, PREFORMA et SWIFT, visaient l'un des domaines d'applications traditionnels de l'entreprise : la météorologie. Un troisième projet, FEX, se rapporte au problème de la cartographie par satellite, qui devient un secteur d'activité de plus en plus important chez MacDonald Dettwiler. Le projet le plus récent, STAR, applique l'expertise de l'entreprise à un nouveau domaine : la maintenance des systèmes électromécaniques. Ce projet vise actuellement des applications terrestres, mais nous prévoyons que ce type d'expertise sera bientôt nécessaire pour des applications spatiales, ainsi que pour diverses industries. En tant que membre de l'équipe de projet de la station spatiale, MacDonald Dettwiler se soucie tout particulièrement de l'amélioration des capacités canadiennes en IA pour les applications éventuelles dans ce projet.

Les brefs comptes rendus suivants présentent certains des travaux récents en IA réalisés chez MacDonald Dettwiler.

PREFORMA

Participants : Guy Druce, Max Krause, Peter George

Le projet PREFORMA (PREcipitation FORecasting Meteorologist's Assistant/Assistant météorologique pour la prévision des précipitations) a été entrepris en vue de vérifier s'il était possible d'élaborer un système à base de connaissances offrant une performance de niveau expert dans le domaine de la prévision météorologique à court terme. Pour ce faire, nous avons modélisé les catégories conceptuelles et les méthodes d'inférence appliquées à ce problème par les météorologues humains. Le choix de cette approche était motivé par le constat que les météorologues humains réussissaient quotidiennement à résoudre ce problème de façon satisfaisante et par la constatation que l'approche numérique exigeait des ressources qui étaient hors de la portée de la plupart des utilisateurs éventuels d'un tel système. Afin de simplifier le problème, nous avons suivi les conseils du Service canadien d'environnement atmosphérique et nous avons circonscrit le problème à une période de douze heures pour la prévision de la survenue, de la phase, du moment et de l'intensité des précipitations en un seul endroit.

Après environ deux années-personnes d'efforts, PREFORMA est doté d'une très bonne interface utilisateur qui soutient l'analyse des cartes météorologiques de manière à accélérer le travail analytique réalisé par un météorologue en service. Le module de raisonnement météorologique du système peut effectuer la projection automatique des positions futures des fronts froids et chauds à l'aide des règles générales employées par les météorologues, bien qu'avec moins de précision que ces derniers. Cet écart de rendement est attribuable à la difficulté de réaliser sur ordinateur les tâches complexes de reconnaissance visuelle de configurations que les météorologues effectuent pour projeter les positions futures des phénomènes météorologiques.

[1] Réimprimé avec l'autorisation d'*Intelligence artificielle au Canada*, juillet : 23–27; 1988.

[2] Max Krause est chercheur en intelligence artificielle au service de MacDonald Dettwiler et Associates. M. Krause détient un baccalauréat en psychologie et une maîtrise en informatique.

SWIFT

Participants : Max Krause, Peter George (MacDonald Dettwiler), Doug Konkin, Ken Gamble, Julia Driver (Conseil de recherches de l'Alberta).

Le projet SWIFT (Severe Weather Intelligent Forecast Terminal/Terminal intelligent pour la prévision des alertes météorologiques) est un effort conjoint de MacDonald Dettwiler et du Conseil de recherches de l'Alberta pour le compte du Service d'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. SWIFT est un prototype de système visant à doter les météorologues d'un poste de travail pouvant les aider à organiser et à interpréter les grandes quantités d'information qui sont essentielles à la prévision à court terme des alertes météorologiques dans les provinces des Prairies. Le système utilise un indice statistique de l'activité convective potentielle (l'indice Sc4 mis au point par Geoff Strong du Conseil de recherches de l'Alberta) et les connaissances relatives aux caractéristiques météorologiques observées afin de prévoir l'emplacement et la direction du mouvement des zones où des précipitations de convection graves sont susceptibles de se produire au cours de la journée.

L'«intelligence» de SWIFT repose sur plusieurs éléments :

- un module qui analyse les commentaires des rapports SA pour en extraire des informations sur les phénomènes météorologiques (nuages, précipitations, etc.);
- un module qui utilise les connaissances sur les caractéristiques et les phénomènes météorologiques observés pour raffiner l'interprétation d'un prédicteur statistique de déclenchement d'orage à la base orientale des Rocheuses (l'indice Sc4);
- un sous-système qui saisit un modèle interne (fondé sur cadre) de l'analyse des cartes météorologiques des caractéristiques et des champs; les résultats d'analyses subjectives ou objectives sont ainsi accessibles à d'autres sous-systèmes qui peuvent utiliser ces connaissances pour faire des raisonnements sur leur évolution ultérieure;
- une fonction de raisonnement spatial (géographique) et temporel.

SWIFT est exploité en InterLISP-D, LOOPS et OPS4 sur un ordinateur Xerox 1186 LISP. La réception et le formattage des données saisies et le calcul de l'indice Sc4 sont effectués sur un ordinateur central (actuellement un DEC VAX); le logiciel du poste de travail interroge la mémoire de l'ordinateur central pour obtenir les données nécessaires.

FEX

Participants : John Zelek, Ben Yee

Le système FEX (Feature Extraction) est un système à base de connaissances servant à l'extraction automatique des caractéristiques planimétriques des données-images télédétectées. Les caractéristiques planimétriques topographiques comprennent les surfaces naturelles (rivières, lacs) et les surfaces artificielles (routes, voies ferrées, ponts). Dans les opérations traditionnelles, le photo-interprète doit procéder manuellement à l'extraction et à l'interprétation des caractéristiques planimétriques des images sur un stéréorestituteur. L'extraction visuelle des caractéristiques planimétriques est une opération qui demande beaucoup de travail. L'extraction automatique des caractéristiques présente les avantages suivants : économies de temps et de main-d'oeuvre, précision accrue, cohérence et uniformité des données planimétriques.

Les travaux de recherche en cours chez MacDonald Dettwiler visent surtout l'extraction des caractéristiques s'apparentant à des routes dans les images SPOT. À elles seules, les techniques numériques ne permettent pas d'atteindre la cohérence et la précision de la photo-interprétation humaine. Afin de détecter et de situer les routes, FEX incorpore les connaissances heuristiques de la photo-interprétation. Voici certaines des connaissances associées aux routes :

- Spectrales : Sur les images, les tronçons de routes présentent un contraste spectral plus net que les environs immédiats. Les tronçons routiers tendent à avoir une répartition spectrale locale uniforme.
- Géométriques : Les structures linéaires parallèles fournissent des indices sur l'emplacement possible des tronçons routiers. La localisation de lignes parallèles à partir des extrémités détectées dans les images nécessite l'extraction d'un réseau hiérarchique de structures géométriques abstraites.
- Structurales : Les routes forment des réseaux et croisent d'autres tronçons routiers.

- Contextuelles : Les routes ne sont pas situées dans des étendues d'eau. Les maisons et les édifices sont habituellement situés à proximité de routes. Un pont est un tronçon de route qui traverse une étendue d'eau.

FEX combine des techniques du traitement des images, de la télédétection et de l'intelligence artificielle pour l'extraction automatique des caractéristiques. Le prototype de FEX incorpore certaines des connaissances spectrales et géométriques. Ce prototype a permis de réduire à moins de 30 % les erreurs et les omissions. Les travaux en cours indiquent qu'il serait possible de réduire davantage les niveaux d'erreurs en incorporant les connaissances structurales et contextuelles.

Dans ce système, le traitement numérique se fait en VAX Pascal, tandis que la manipulation des données symboliques se fait en Quintus Prolog. FEX est exploité sur un microVAX DEC.

STAR

Participants : Timothy Bult, Max Krause, Randy Roesler, Daphne Hassner, Peter George (MacDonald Dettwiler), Richard Rosenberg (université de la Colombie-Britannique), Frits Swinkels (université Simon Fraser), Eric Manning (université de Victoria), Brent Sauder (MacMillan Bloedel) et Dennis Schwab (Finning Caterpillar)

Le projet STAR (STrategic Advanced Research/ Recherche stratégique de pointe) est un projet de coopération université-industrie, mis sur pied à l'instigation de l'Advanced Systems Institute (ASI) de la Colombie-Britannique en collaboration avec MacMillan Bloedel, la plus importante entreprise forestière de cette province. Ce projet vise le développement d'un système à base de connaissances pour le dépistage et la prévision des défaillances des gros camions forestiers utilisés sur les routes secondaires, ainsi que pour la planification de l'affectation des ressources en vue d'améliorer la disponibilité de ces équipements. L'un des principaux catalyseurs du développement de ce type de technologie est le programme canadien de la station spatiale, qui nécessitera des compétences considérables en technologie de l'IA pour le développement du Système mobile d'entretien (MSS).

MacMillan Bloedel a installé, sur certains de ses camions forestiers, des dispositifs permettant d'enregistrer 25 types de données à intervalle régulier pendant que l'équipement est en service. Le projet STAR développera un système à base de connaissances qui pourra analyser ces données, déceler les baisses de rendement, prédire les défaillances imminentes et diagnostiquer les causes des défaillances décelées. Ce système à base de connaissances posera des jugements qualitatifs sur la gravité des problèmes réels ou prévus. Dans le cadre de ce projet, on examine également la possibilité de planifier les travaux d'entretien préventif afin de maximiser la disponibilité de l'équipement.

Pour remplir cette fonction, le système à base de connaissances incorporera les observations recueillies par un utilisateur humain ou par le système de surveillance automatique. Il utilisera ensuite ces observations pour déceler les symptômes, formuler des hypothèses sur les causes probables, prédire les effets à court et à long terme et recommander des interventions possibles en vue de les atténuer. Le raisonnement du système sera basé sur un modèle interne de la structure et du fonctionnement de l'équipement, et sur des connaissances relatives aux stratégies pertinentes de diagnostic, de réparation et de planification.

Énergie Nouveau-Brunswick

Introduction

Le présent résumé donne un aperçu des applications de systèmes experts à Énergie Nouveau-Brunswick. Tous les projets décrits visent la résolution de problèmes spécifiques à cette entreprise de production d'énergie électrique. L'orientation et la supervision de tous les projets ont été assurées par Énergie Nouveau-Brunswick, mais certains des travaux ont été réalisés par des organismes extérieurs, en l'occurrence l'université du Nouveau-Brunswick.

Diagnostic de l'état des régulateurs

La structure de ce projet a d'abord été établie conjointement par le Groupe de performance des systèmes et l'université. Énergie Nouveau-Brunswick a assuré la supervision et l'orientation des travaux, et l'université a réalisé les recherches théoriques.

Objectif

Ces travaux visaient la conception et la mise en service d'un contrôleur à base de connaissances fonctionnant en temps réel et permettant de réduire au minimum la réponse en cas de pannes survenant dans les régulateurs électrohydrauliques d'un groupe hydro-électrique. Plus spécifiquement, les défaillances envisagées étaient les suivantes :

- non-correspondance entre le réglage des paramètres du contrôleur et les conditions de charge de la génératrice;
- blocage à zéro du détecteur de vitesse de la génératrice;
- défaillance survenant dans l'actuateur commandant les vannes;
- désaccord du gain intégral du régulateur de puissance.

L'environnement utilisé était Prolog.

Solutions de rechange pour la mise en service des groupes hydro-électriques

La mise en oeuvre de ce projet découlait de la possibilité de devoir apporter des modifications relativement considérables à un progiciel d'ordonnancement des opérations hydrothermiques et de modélisation des régimes fluviaux. On a décidé d'examiner les solutions de rechange pour le module frontal de mise en service des groupes.

Objectif

Ces travaux avaient pour objectif d'examiner les solutions de rechange à base de règles pour l'affectation des groupes hydro-électriques. L'une des méthodes les plus courantes utilisées pour déterminer l'ordre de mise en service des groupes est appelée la méthode de gradation des priorités, et l'un des critères utilisés est le coût de production moyen des groupes. Dans le cadre des modifications à apporter au progiciel, il a été jugé souhaitable d'examiner les solutions de rechange pour le module frontal existant.

Méthodologie

Les caractéristiques d'entrées-sorties thermiques ont été relevées suivant le terme quadratique habituel. En fonction de l'expérience, on a examiné les divers facteurs entrant en ligne de compte dans le coût de production pour un groupe. On a ainsi structuré une vingtaine de règles, d'abord basées sur le coût de production moyen, puis sur le coût à charge nulle.

Le langage utilisé pour cette application est le si-alors de Fortran.

Applications à la distribution d'énergie électrique

Ce projet consistait à évaluer la faisabilité d'utiliser la technologie des systèmes à base de connaissances dans les opérations de distribution d'énergie électrique.

Objectif

Ces travaux avaient pour but d'examiner la faisabilité technique d'appliquer les systèmes experts à l'automatisation de certains aspects opérationnels du système de distribution. Les objectifs comprenaient un ensemble d'exigences techniques; l'étude de faisabilité devait aussi examiner si le système utilisé pouvait être facilement interfacé avec les bases de données de l'organisme qui sont emmagasinées dans un ordinateur central IBM.

Méthodologie

Il a été établi que le diagnostic des pannes et le rétablissement du service constituaient les principaux domaines de préoccupation. Le premier outil de développement que l'on a considéré était l'Environnement de système expert qui tourne sur un ordinateur central IBM. Le deuxième était

GoldWorks, un système à base LISP qui est exploité sur un ordinateur IBM AT ou sur un appareil compatible. Le troisième environnement considéré a été ART (outil de raisonnement automatisé), qui fonctionne sur les mini-ordinateurs Symbolics 3600 utilisant LISP, ainsi que sur les postes de travail Sun. Le dernier environnement utilisé a été le Knowledge Tool, qui est un système fonctionnant sur ordinateur central IBM.

Les résultats de ces travaux indiquaient que les systèmes ART et Knowledge Tools satisfaisaient aux exigences techniques de mise en oeuvre pour l'ensemble du réseau de distribution.

Développement de données de tests

Ce projet vise le développement d'un système expert pour la production automatique de données de tests pour les programmes de contrôle.

Objectif

Ces travaux ont pour objectif le développement d'un prototype de système expert qui produit automatiquement des données de tests pour un programme de vérification. Plus spécifiquement, l'objectif visé est l'automatisation de la production des données de tests utilisées pour valider la réponse du programme de contrôle thermique du modérateur.

Méthodologie

Les programmes de contrôle sont les logiciels qui gèrent le contrôleur numérique d'une centrale nucléaire. On teste actuellement les programmes de contrôle à l'aide d'ensembles de données judicieusement sélectionnés. Le prototype de système expert permettra de reproduire, pour un programme de contrôle donné, l'ensemble de données de tests qui est présentement préparé manuellement. Le prototype saisira les règles et les données qui définissent les décisions prises par le programme de contrôle thermique du modérateur. Ce système incorporera également des règles supplémentaires pour saisir l'expertise ou les compétences pratiques mises en application par un ingénieur pour vérifier les logiciels. On utilisera la coquille de système expert CLIPS pour développer ce système.

Sélection automatique des canaux de rechargement

Ce projet visait à aider l'ingénieur affecté au rechargement d'un réacteur Candu à choisir les canaux de rechargement.

Objectif

Ces travaux avaient pour objectif de développer un système expert à base de connaissances qui aiderait l'ingénieur affecté au rechargement à choisir les canaux utilisés pour le rechargement au cours des quelques jours suivants. À l'heure actuelle, ce choix est fondé sur l'expérience et le jugement humains, et il nécessite un examen attentif de données telles que la répartition de la puissance et de la combustion massique, les taux de rechargement, le réglage zonal et les antécédents récents des opérations de rechargement.

Méthodologie

Le programme qui a été développé porte le nom de Fuel Channel Selection (FCS). Il a été écrit par le personnel de la centrale nucléaire de Pointe Lepreau, avec l'étroite participation des ingénieurs affectés au rechargement. Le programme FCS a été rédigé en Fortran 77, et développé et installé sur un VAX 3600. FCS peut jouer le rôle de décisionnaire ou d'assistant.

Opérateur expert pour VAX

Ce projet était destiné à l'opérateur du système informatique VAX.

Objectif

Ces travaux avaient pour objectif de développer un assistant pour l'opérateur du système informatique VAX. Il s'agissait, dans un premier temps, d'améliorer rapidement les compétences et de réduire la période de formation.

Méthodologie

On a d'abord élaboré une série de règles et de connaissances à base de procédures qui permettraient de mettre les compétences des experts à la disposition d'opérateurs relativement inexpérimentés.

Procédures opérationnelles d'urgence

Les centrales nucléaires sont contrôlées par des postes informatiques. On procède actuellement à l'ajout de fonctions permettant d'incorporer les procédures opérationnelles d'urgence à un système de surveillance informatisé.

Objectifs

Les procédures opérationnelles d'urgence occupent actuellement neuf classeurs, soit un classeur par procédure. Il s'agissait de concevoir un programme informatique qui puisse reconnaître l'adresse de lancement des procédures opérationnelles d'urgence

et assurer la surveillance après la mise en oeuvre d'une procédure.

Méthodologie

L'ergonomie constituait l'une des principales considérations de conception pour la mise en oeuvre du système de surveillance des procédures opérationnelles d'urgence. Il a été proposé d'ajouter une passerelle aux ordinateurs de contrôle de la station pour permettre le téléchargement de données via le réseau local Ethernet. Le programme a été rédigé en langage d'assemblage.

Système de surveillance de l'état des systèmes

À l'heure actuelle, les bases de données des paramètres du système sont emmagasinées à la centrale de Pointe Lepreau. En analysant les tendances de ces paramètres, les ingénieurs de la centrale peuvent déduire l'état des systèmes et des équipements des systèmes. Ce projet envisagera l'ajout d'un ordinateur central de système expert aux programmes d'enregistrement et d'analyse des données.

Objectifs

Ce projet a pour objectif de développer un système expert pour surveiller l'état de certains systèmes et équipements de la centrale. Le système expert sera d'abord développé en vue de surveiller le système de contrôle de la zone liquide, mais le prototype initial sera conçu de manière à pouvoir être augmenté pour inclure d'autres systèmes.

Méthodologie

Un système expert à base de règles offre un format pratique pour représenter les données et les procédures nécessaires à un système informatisé de surveillance de l'état des systèmes. Un format de système expert est conçu pour réaliser les calculs numériques qui sont à la base des systèmes informatiques traditionnels, mais aussi pour intégrer les connaissances heuristiques ou pratiques d'un expert humain.

L'on prévoit développer un prototype au moyen d'ART (outil de raisonnement automatique).

PRECARN

PRECARN regroupe plus de 30 sociétés commerciales canadiennes oeuvrant dans différents secteurs industriels. Énergie Nouveau-Brunswick est l'une des entreprises appartenant au réseau PRECARN et le soutenant financièrement.

Le réseau PRECARN soutient des projets dans le domaine de l'intelligence artificielle et de la robotique. Énergie Nouveau-Brunswick et l'Université du Nouveau-Brunswick ont proposé à PRECARN un projet visant le développement de manuels interactifs à base de système expert pour l'exploitation des centrales.

Conclusions

Le présent résumé donnait un aperçu des applications de systèmes experts à Énergie Nouveau-Brunswick. Les applications sont très diversifiées et plusieurs d'entre elles se rapportent à la centrale nucléaire de Pointe Lepreau.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Bryan K. Patterson
Centrale électrique de Pointe Lepreau
Énergie Nouveau-Brunswick
Pointe Lepreau (Nouveau-Brunswick)
E0G 2H0

Eugene Hill
Département de génie électrique
Université du Nouveau-Brunswick
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5A3

Price Waterhouse

Price Waterhouse a identifié les systèmes experts comme l'une des technologies centrales de ses services de consultation en technologie de l'information.

Price Waterhouse s'intéresse au domaine de l'intelligence artificielle, plus spécifiquement au domaine des systèmes experts, depuis 1988; elle créait alors l'unité de pratique spéciale dans le secteur des nouvelles technologies. Au cours des deux dernières années, notre entreprise a acquis d'importantes compétences en génie cognitif et elle a maintenant à son service des experts-conseils et des spécialistes en développement de systèmes experts à Toronto, Ottawa et Winnipeg. Nous avons mis l'accent sur l'embauche de professionnels ayant acquis une expérience pratique en développant des systèmes qui sont maintenant en service.

Le groupe canadien peut compter sur l'appui de professionnels de même calibre au Royaume-Uni, en Australie et aux États-Unis. Ces groupes travaillent en étroite collaboration, particulièrement aux États-Unis où, en plus des projets d'IA, on réalise des travaux conjoints dans le domaine du traitement des images, des cartes à mémoire et de l'échange électronique de données.

Price Waterhouse consacre également d'importants investissements dans la recherche appliquée et elle exploite un centre de technologie de pointe à Menlo Park, en Californie. Le centre, qui s'intéresse à diverses technologies, notamment la prise d'images, la gestion à grande échelle des documents et l'ingénierie logicielle assistée par ordinateur, accorde une importance particulière à l'IA. Au cours des deux dernières années, des chercheurs et des universitaires de renommée mondiale, comme le Dr Paul Turner, de Xerox Parc, le Dr Richard Fykes, l'un des concepteurs de KEE, le Dr Beau Shield et le Dr David King, de Techknowledge, se sont joints à l'équipe de recherche du centre de technologie. Le centre, qui fournit des services de consultation, de formation et de recherche sur les applications aux divers bureaux de Price Waterhouse à l'échelle internationale, procède actuellement au développement de systèmes à base de connaissances pour appuyer les domaines de spécialisation de l'entreprise, comme le domaine fiscal.

Suivant en cela l'évolution générale du marché, caractérisée par l'adoption plutôt lente de la technologie des systèmes experts, les premiers contrats obtenus par Price Waterhouse ne présentaient pas de concentration sectorielle marquée : l'entreprise suivait la demande. Voici certains des projets les plus représentatifs :

- système expert pour évaluer les propositions en vue de la création de nouvelles normes;
- système expert pour aider à évaluer les risques des appareils médicaux;
- analyse de l'utilisation potentielle de KEE pour évaluer les répercussions des nouvelles technologies sur la réduction des coûts dans le domaine de la santé;
- système expert pour soutenir l'application des lois sur la concurrence dans l'examen des nouvelles contestations proposées;
- analyse des possibilités des systèmes à base de connaissances pour une importante société de télédiffusion;
- développement de séminaires sur l'IA pour le gouvernement de l'Ontario;
- développement de séminaires sur l'IA et identification d'applications possibles pour Environnement Canada;
- prototype de système expert pour soutenir l'analyse des points de contrôle des risques dans la conception des procédés de production d'aliments réfrigérés;
- analyse du rôle de la technologie de l'IA dans les systèmes de combat naval et aérien;
- système expert pour soutenir un service de dépannage pour micro-ordinateur;
- système expert conseiller pour soutenir les traitements chimiothérapeutiques dispensés par le programme clinique de la Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation;
- soutien technique à l'amélioration des systèmes experts pour le Centre canadien de télédétection.

Cette liste témoigne de la diversité et de la pénétration croissante des applications de systèmes experts. Nous constatons aujourd'hui que les clients s'intéressent plus que jamais à cette technologie et que les projets entrepris sont nettement plus importants et plus complexes.

Les activités de Price Waterhouse dans le domaine de l'IA continueront d'être axées sur la technologie des systèmes à base de connaissances et nos efforts viseront les objectifs suivants :

- accroître la compréhension de la technologie au sein des autres unités de travail de l'entreprise, par exemple les services de vérification comptable;
- poursuivre l'élaboration de méthodes pour orienter le développement et la maintenance des systèmes à base de connaissances et intégrer ces méthodes aux méthodes établies de gestion des systèmes;
- mettre progressivement en oeuvre une approche commerciale plus sectorielle, selon laquelle la technologie des systèmes à base de connaissances sera couplée à nos services de consultation spécialisés visant, par exemple, les systèmes d'information dans les secteurs de la santé, de l'environnement, des finances, et des systèmes administratifs;
- poursuivre le développement des systèmes à base de connaissance pour soutenir nos importants services de vérification comptable et de consultation fiscale;
- continuer de mettre l'accent sur l'intégration des systèmes à base de connaissances aux systèmes d'information traditionnels et sur la prestation de services de formation dans ce domaine à l'intention des spécialistes des systèmes traditionnels.

Price Waterhouse croit fermement que les systèmes à base de connaissances constitueront un élément essentiel de tous les futurs systèmes d'information et que l'utilisation des outils d'application de ces systèmes sera essentielle à la prestation et à la croissance soutenues des services de comptabilité et de consultation au cours des années 1990. Price Waterhouse augmentera d'ailleurs son programme d'investissements en IA.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

G. Thomas
Thomas International Inc.
a/s de Price Waterhouse
180, rue Elgin, bureau 1100
Ottawa (Ontario)
K2P 2K3
Téléphone : (613) 238-8200
Télécopieur : (613) 238-4798

La Banque royale du Canada

La Banque royale utilise la technologie de l'intelligence artificielle depuis plusieurs années. Le service de planification et de développement des technologies a d'abord réalisé des projets visant à déterminer l'incidence et la portée des nombreuses technologies constituant l'univers de l'IA.

On constate aujourd'hui que l'IA est progressivement acceptée comme une technologie permettant de résoudre certains types de problèmes qui, s'ils ne sont pas insolubles au moyen des techniques traditionnelles, se prêtent mieux aux techniques mises en oeuvre dans les logiciels d'IA. Les travaux en IA ont surtout été concentrés dans le domaine des systèmes experts. On explore les langages graphiques et naturels, à mesure que les capacités de traitement et de mémoire des ordinateurs et des supports d'information s'améliorent et que les prix baissent.

Les systèmes experts nous permettent de saisir les connaissances pratiques du personnel chevronné, puis, en utilisant les données commerciales déjà disponibles sous forme électronique, d'appliquer ces règles et connaissances au moyen des techniques de traitement des inférences pour formuler des recommandations ou des solutions. Plus spécifiquement, nous poursuivons des travaux dans tous les domaines traditionnels des services de consultation spécialisés, des services de dépannage opérationnel et des systèmes d'évaluation des risques afin d'aider les gestionnaires à prendre des décisions qui deviennent de plus en plus complexes. La sécurité des transactions financières, qui constitue un nouveau domaine de préoccupation, nécessite des logiciels d'IA très performants et dotés de capacités de mise en correspondance d'attributs complexes.

On prévoit que la technologie à base d'inférences sera intégrée aux applications commerciales courantes d'ici les deux prochaines années.

Les techniques de systèmes experts seront bientôt mises en oeuvre dans les secteurs traditionnels du traitement des données qui se prêtent à cette technologie.

Nous poursuivrons les recherches dans tous les autres domaines de l'IA.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Elo Laugesen, directeur
Projets de technologie
Banque royale du Canada
315 Front Street West
Toronto (Ontario)
M5V 3A4

Shell Canada

Sommaire

Chez Shell Canada, la technologie des systèmes experts, discipline relevant de l'intelligence artificielle, est passée, en quatre ans, du stade de la recherche appliquée à celui d'une technologie actuellement rentable. Le présent compte rendu traite de cette évolution, des leçons apprises et des objectifs futurs.

Les débuts

Shell Canada s'intéresse à la technologie de l'IA depuis 1986. Le service de recherche a d'abord réalisé plusieurs projets visant à évaluer le potentiel réel de l'IA. Aujourd'hui, Shell utilise la technologie de l'IA pour trouver des solutions à une catégorie de problèmes qui sont très difficiles voire impossibles à résoudre au moyen des techniques traditionnelles.

Les travaux en IA se sont surtout concentrés sur les systèmes experts. Les systèmes expert incorporent les règles commerciales utilisées par un expert pour résoudre un problème particulier et utilisent une technique d'inférence informatique pour formuler une solution répondant à toutes les règles données.

En 1986, la technologie des systèmes experts n'avait pas encore fait ses preuves dans notre industrie. Il existait bien quelques cas de réussite dans des secteurs spécialisés, mais rien de prouvait que cette technologie était applicable aux problèmes typiques d'une grande société commerciale comme Shell Canada. Comme c'est toujours le cas pour les technologies nouvelles, la décision de s'intéresser à cette nouvelle technologie était fondée sur la conviction que l'IA pourrait être profitable pour l'entreprise.

La vision à la base de cette conviction

Notre vision s'appuyait sur trois éléments fondamentaux : d'abord, nous étions aux prises avec une catégorie de problèmes difficiles voire impossibles à résoudre au moyen des méthodes algorithmiques traditionnelles utilisant l'ordinateur, mais que les êtres humains peuvent résoudre aisément. Les sciences de la terre, telles qu'elles sont utilisées par les sociétés pétrolières, et les aspects opérationnels d'une entreprise pétrolière soulèvent de nombreux problèmes auxquels on ne peut apporter de solutions précisément calculables, mais qu'on peut résoudre en posant des jugements fondés sur des règles empiriques éprouvées. La technologie des systèmes experts constituait une avenue prometteuse pour la recherche de solutions informatiques à cette catégorie de problèmes.

Deuxièmement, les secteurs commerciaux de l'industrie pétrolière comportaient des situations où il était très difficile de traduire les politiques commerciales en une suite d'étapes informatisées et où les fréquents changements de politique entraînaient de coûteuses modifications aux systèmes informatiques. Il s'agissait notamment des règles fiscales, des règlements touchant les redevances, des politiques en matière de personnel, et des politiques salariales. Tous ces secteurs avaient été informatisés, mais leur gestion était coûteuse et les fréquents changements suscitaient des problèmes de fiabilité. Les systèmes experts offraient une meilleure façon d'intégrer les composants de ces systèmes basés sur des règles commerciales plutôt que sur des calculs mathématiques. On espérait que ces nouveaux systèmes seraient plus fiables et que leur construction soit plus rapide et moins coûteuse.

Troisièmement, notre personnel chevronné possédait une expérience et une expertise considérables qu'il était difficile de saisir et de transmettre au personnel moins expérimenté. Cela s'appliquait à tous les secteurs de l'entreprise, depuis les opérations très techniques sur le terrain jusqu'aux opérations financières, en passant par les politiques en matière de personnel et de régimes de retraite. Là encore, la technologie des systèmes experts nous offrait la possibilité d'intégrer ces connaissances et de les rendre disponibles en tout temps et en plusieurs endroits simultanément, même en région éloignée.

Le processus

En 1986, Shell Canada décidait de consacrer des ressources dans le domaine de la recherche afin d'examiner si la technologie des systèmes experts pouvait être appliquée à ses opérations, afin d'apprendre à construire de tels systèmes et de cerner certaines des difficultés inhérentes à cette technologie. Le service de recherche constituait un incubateur idéal, libérant les projets des contraintes opérationnelles quotidiennes et favorisant ainsi l'atteinte des objectifs d'apprentissage.

Ces travaux avaient pour objectif d'appliquer, aux situations propres à Shell Canada, une technologie qui était disponible dans le commerce sous forme d'outils de développement et, dans le milieu

universitaire, sous forme de savoir-faire et d'expérience. Nous avons choisi d'utiliser des coquilles de systèmes experts, plutôt que des langages plus élémentaires comme LISP et Prolog. Les coquilles servent de modèle pour la construction d'un système. Elles permettent de constituer une base de règles et elles comportent un moteur d'inférence permettant de trouver des solutions correspondant à ces règles. La construction d'un système est donc relativement rapide. Les coquilles sont un peu plus contraignantes que LISP ou Prolog, mais nous avons constaté que les contraintes étaient minimes pour les applications visées, au regard de la réduction du temps nécessaire à l'apprentissage et au développement.

Les résultats

Jusqu'ici, nous avons construit environ une douzaine de systèmes, dont la plupart sont en service et rentables; ceux qui ne sont pas utilisés nous ont néanmoins beaucoup appris sur les choses à éviter dans la construction d'un système expert. Certains de ces projets, qui visent différents domaines, sont décrits ci-après.

- *Conseiller pour le forage pneumatique* : Ce système conseille les ingénieurs de forage sur le bien-fondé de l'utilisation du forage pneumatique dans une situation donnée, ainsi que sur les paramètres techniques à utiliser.

- *Conseiller pour la cémentation* : Ce système conseille les ingénieurs de forage sur les opérations de cémentation des puits.

- *Conseiller pour l'évaluation des demandes de crédit* : Ce système fournit des conseils sur le risque de crédit des demandeurs. Il réduit le temps nécessaire aux évaluations et constitue un seuil cohérent pour l'examen des demandes.

- *Conseiller en matière de toxicologie* : Ce système assiste les toxicologues en leur suggérant une classification toxicologique pour un produit donné, selon la composition du produit définie dans la base de données de l'entreprise.

- *Soutien du service de dépannage* : Deux systèmes ont été développés. Ils fournissent du soutien en temps réel au personnel affecté à deux types de services de dépannage. Ils servent de complément à l'expertise des préposés et peuvent constituer des outils de formation efficaces.

- *Conseiller pour la maintenance des systèmes* : Ce système conseille les préposés au soutien des systèmes informatiques sur les causes probables des défaillances et sur les correctifs possibles, ainsi que sur les répercussions possibles des réparations.

- *Conseiller pour les préposés au traitement* : Ce système conseiller les préposés au traitement sur les mesures de contrôle recommandées en fonction des tendances et de l'état des paramètres de traitement, comme la température, la pression et le débit.

- *Interfaces utilisateurs* : Plusieurs systèmes ont été développés pour conseiller les utilisateurs de systèmes informatiques complexes, comme les modèles de réservoirs ou les processeurs sismiques, sur la façon d'ordonnancer une tâche ou de diagnostiquer les causes d'une défaillance.

Ces systèmes en sont à différents stades de développement. La plupart sont en service et ont des répercussions économiques positives. D'autres en sont encore à l'étape de la validation du principe, c'est-à-dire qu'ils sont fonctionnels mais qu'ils ne sont pas utilisés en production pour des raisons techniques ou culturelles.

En plus des systèmes décrits ci-dessus, nous avons une liste d'environ 40 projets qui pourront être mis en oeuvre selon la disponibilité des ressources. Nous avons élaboré une grille de sélection pour évaluer les propositions de projets avant d'engager des ressources. Cette grille comporte des questions pertinentes qui permettent de déterminer si la technologie des systèmes experts convient à l'application envisagée.

Conclusion

Les deux premières promesses des systèmes experts se sont concrétisées. Nous avons développé, rapidement et aisément, des systèmes et des applications dont la construction aurait été très difficile, sinon impossible avec les technologies traditionnelles. La dernière promesse, soit celle d'incorporer les compétences sous une forme transférable, a été démontrée dans un domaine de connaissance restreint, et l'on examine actuellement les problèmes inhérents à la saisie des connaissances dans un domaine plus vaste.

Il existe évidemment des difficultés. L'acquisition des connaissances, c'est-à-dire l'encodage des connaissances d'un expert sous forme d'un ensemble de règles convenant à la coquille du système expert, demeure un art qui s'acquiert par la pratique. Les universités locales et certains distributeurs

commerciaux poursuivent cependant des recherches prometteuses dans ce domaine. Par ailleurs, l'acceptation culturelle de cette technologie constitue une autre source de difficultés. Les caractéristiques «humaines» des systèmes experts suscitent différentes réactions chez les gens. Il faudra poursuivre les recherches sur les répercussions culturelles et sociales des systèmes experts pour en favoriser l'acceptation.

Nous procédons actuellement à l'intégration de cette technologie dans le courant principal des systèmes d'informations de gestion, afin d'évaluer pour chaque projet les apports potentiels de la technologie des systèmes experts. Selon nos prévisions, de nombreux systèmes traditionnels se révéleront comporter des composants à base de règles qui se prêtent idéalement aux techniques des systèmes experts. Il existe actuellement sur le marché de très bons outils qui permettent d'intégrer la technologie des systèmes experts au développement des systèmes traditionnels.

Nous limitons nos travaux de recherche appliquée à la résolution de problèmes concrets. Nos premiers travaux étaient basés sur la recherche fondamentale effectuée par les laboratoires Royal Dutch de Shell en Europe en collaboration avec l'université Carnegie-Mellon. Nous tentons, autant que possible, de faire fond sur les recherches fondamentales menées par les universités canadiennes, les organismes gouvernementaux et les organismes du secteur privé, comme le réseau PRECARN.

Au cours des années 1990, le véritable pouvoir des ordinateurs consistera à servir de prolongement à l'intelligence humaine, comme l'automobile a servi de prolongement à la capacité ambulatoire de l'homme. L'ordinateur possède déjà une volumineuse mémoire infaillible. La technologie des systèmes experts la dotera de la capacité de raisonner de façon cohérente et d'effectuer des inférences plus exhaustives. Ces capacités viendront compléter la mémoire restreinte et oublieuse de l'homme et son raisonnement subjectif et enclin aux raccourcis. Nous estimons que cette assistance informatique procurera à nos cogniticiens l'avantage productif dont ils auront besoin pour maintenir notre entreprise forte et concurrentielle au cours des années 1990 et au-delà.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Wally Reimer
Shell Canada Ltée
400 4th Avenue SW
Calgary (Alberta)
T2P 2H5
Téléphone : (403) 232-4231
Télécopieur : (403) 232-4840

Section 6

Annexes

Annex 1 : Étude sur les compétences canadiennes dans le domaine de l'IA : Décembre 1989

Introduction

Ce résumé présente les résultats d'une étude sur les compétences canadiennes dans le domaine de l'IA, qui a été réalisée par la société Price Waterhouse pour le compte d'Industrie, Sciences et Technologie Canada.

Objectifs de l'étude

La Direction de la politique sur la technologie d'Industrie, Sciences et Technologie Canada a chargé la société Price Waterhouse de réaliser une étude sur les compétences canadiennes dans le domaine de l'IA et de verser les résultats de cette étude dans une base de données électronique.

Cette base de données, qui sera mise à jour régulièrement, permettra aux ministères et organismes gouvernementaux d'identifier :

- les organismes en mesure de développer des systèmes ou d'offrir des services en IA pour le compte du gouvernement fédéral;
- les entreprises et les universités susceptibles de participer à des projets de recherche et de développement;
- les entreprises susceptibles de bénéficier d'un transfert de technologie gouvernement-industrie;
- les spécialistes capables d'évaluer le bien-fondé scientifique, technologique et commercial des propositions soumises par les différents ministères du gouvernement.

Dans le but de promouvoir les compétences canadiennes en IA, la base de données sera mise à la disposition d'autres intervenants ayant des besoins semblables. Ces utilisateurs éventuels comprennent :

- les cabinets de consultation dans le domaine de l'informatique et de l'intégration de systèmes;
- les sociétés commerciales, ou leurs divisions, qui appliquent cette technologie dans leurs opérations et (ou) leurs produits;
- les centres de recherche;
- les chercheurs universitaires spécialisés en intelligence artificielle ou utilisant l'IA dans le cadre de leurs travaux de recherche.

Les ministères, organismes et laboratoires fédéraux ont été exclus de cette étude. La participation à l'étude se faisait sur une base strictement volontaire.

Méthodologie

La liste des participants éventuels a été compilée à partir des sources suivantes :

- listes d'envoi de Price Waterhouse (participants à des séminaires, connaissances personnelles et autres sources historiques);
- liste des entrepreneurs OASIS;
- liste des entrepreneurs du ministère des Approvisionnements et Services;
- liste des sources BOSS;
- liste des membres de l'ICRA;
- listes des membres et des équipes de projet du réseau PRECARN
- membres du Comité associé de l'intelligence artificielle du CNRC.

On a pu identifier d'autres participants éventuels à partir des questionnaires retournés, et au moyen de bouche à oreille. De plus, cette étude a été annoncée dans le numéro d'octobre 1989 de la revue *Intelligence artificielle au Canada*.

À la fin de novembre, environ 375 appels de suivi ont été faits auprès des organismes et des particuliers oeuvrant dans le domaine de l'IA qui n'avaient pas encore répondu au questionnaire. Bon nombre de questionnaires nous sont parvenus à la suite de ces appels.

Nous avons vérifié si chaque questionnaire avait été rempli complètement et de façon cohérente, et nous avons fait des appels de suivi lorsque les renseignements étaient ambigus ou incomplets. Nous avons aussi normalisé, dans une certaine mesure, les types d'entreprises (ex. : entreprise de consultation en IA, entreprise oeuvrant dans le domaine de l'intégration des systèmes, etc.). Nous avons défini des catégories pour les spécialisations, les domaines et les types de ressources contractuelles (en fonction des réponses reçues), et les réponses au questionnaire ont été analysées et dépouillées en fonction de ces catégories.

Soulignons que la catégorie de spécialisation «Systèmes experts» est très vaste; elle englobe en effet la planification, le raisonnement fondé sur des

hypothèses, la modélisation et la simulation. La catégorie «Robotique» englobe également les systèmes tactiles et la fusion des capteurs dans le domaine de la robotique.

Toutes les données ont été saisies dans un système de base de données dBASE III+.

Résumé des résultats

Environ 1373 questionnaires ont été postés au cours des deux dernières semaines de septembre 1989. Le tableau 8 présente la ventilation des réponses reçues à la fin de décembre 1989.

À noter que le nombre de participants correspond au nombre de personnes auxquelles on a fait parvenir le questionnaire. Le total des questionnaires que nous avons reçus est inférieur à ce nombre, car certains répondants y ont répondu collectivement.

Au total, 383 organismes et particuliers, soit 28 % des personnes jointes, nous ont répondu qu'ils étaient actifs dans le domaine de l'IA (travaux de développement ou de recherche).

Tableau 8. Réponses au questionnaire.

Nombre de participants	383
Nombre de refus de participer (à la suite d'appels de suivi)	31
Nombre de réponses «pas dans le domaine de l'IA»	90
Nombre d'organismes et de particuliers inscrits sur la liste d'envoi	1373
Taux de réponse	37 %

Compilation des résultats

La présente section est basée sur le contenu des 312 questionnaires reçus avant le 27 novembre 1989. Les réponses à ces questionnaires proviennent d'entreprises, de laboratoires, de centres de recherche, de départements universitaires ou de particuliers. Le terme «organisme» renvoie ci-après aux groupes ou aux particuliers qui ont répondu au questionnaire.

Les annexes B–E du rapport original renferment des listes des spécialisations, des domaines, des produits et des types de ressources contractuelles en AI qui sont contenus dans la base de données.

La plupart des répondants nous ont fourni tous les renseignements demandés. Cependant, une entreprise a estimé que l'ensemble du questionnaire visait des données confidentielles, tandis que plusieurs autres ont jugé que les questions se rapportant au nombre ou à la formation de leurs employés étaient de nature confidentielle. Certains nous ont fourni des données précises, à la condition que seul le gouvernement ait accès à cette information.

Chaque fois que les données chiffrées étaient marquées confidentielles ou non disponibles, nous avons entré «–1» dans la base de données. D'autres renseignements confidentiels n'ont pas été entrés du tout. Ainsi, les résultats fournis dans les sections suivantes ne comprennent pas les données confidentielles ou non disponibles.

Ventilation par province

La figure 13, présenté ci-dessous, montre la ventilation par province des organismes qui ont répondu au questionnaire. La figure 14 donne le nombre

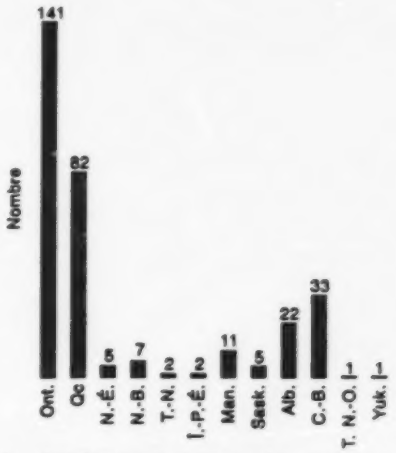


Figure 13. Ventilation par province des organismes.

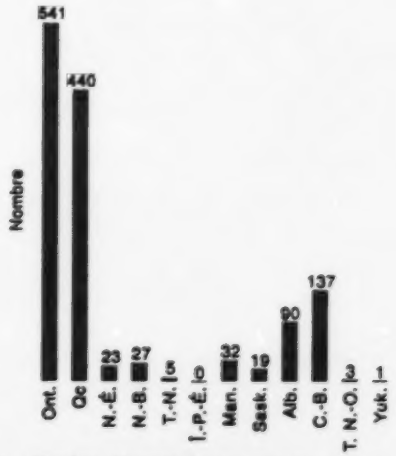


Figure 14. Nombre d'employés par province.

Tableau 9. Total des intervenants représentés dans l'étude.

	Temps plein (moyenne)	Temps partiel (moyenne)
Entreprises/Particuliers (195 questionnaires)		
Étudiants	20(0)	64(0)
Employés	573(3)	398(2)
Universités/Collèges (117 questionnaires)		
Étudiants	604	91
Employés (y compris le personnel enseignant)	276	71

Nota :
1. Le nombre total d'employés à temps partiel est probablement surévalué, du fait qu'un employé à temps partiel peut avoir été inclus dans plus d'un questionnaire.
2. Le nombre total d'étudiants compris dans les données fournies par les universités est inférieur à la réalité, car ces données étaient, dans certains cas, non disponibles.

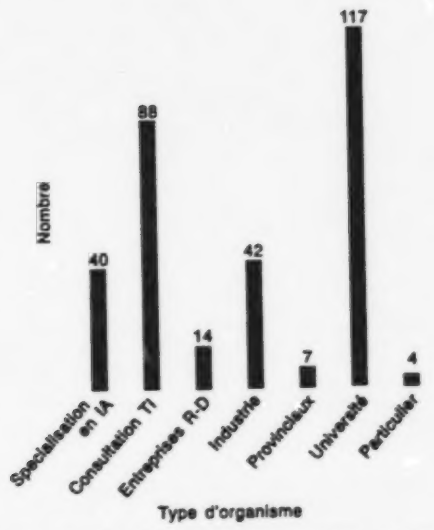


Figure 15. Nombre d'organismes en fonction des principaux types d'organismes.

d'employés, par province, au service des organismes répondants qui poursuivent des travaux dans le domaine de l'IA, que ce soit à temps plein ou à temps partiel.

Intervenants dans le domaine de l'IA

Le tableau 9 définit les employés et les étudiants (à temps plein ou partiel) au service des organismes répondants.

Types d'organismes

La figure 15 présente le nombre d'organismes en fonction des principaux types d'organismes.

Les figures 16 et 17 présentent le nombre d'employés à temps plein et à temps partiel, respectivement, par type d'organisme.

Tableau 10. Nombre de personnes dans chacune des spécialisations de l'IA.

Spécialisation	Nombre de personnes
Robotique	143
Systèmes experts	631
Représentation des connaissances	23
Raisonnement	2
Développement de langage de prog. et d'outils	211
Acquisition des connaissances	264
Bases de données intelligentes	190
Interfaces utilisateur intelligentes	189
Formation assistée par ordinateur	177
Réseaux neuronaux	126
Apprentissage automatique	93
Traitement en langage naturel	115
Traduction automatique	41
Reconnaissance de la parole	43
Vision	154

Nota :
1. Le nombre d'étudiants est sous-évalué : les répondants universitaires étaient souvent incapables de classifier les spécialisations des étudiants.

Spécialisations en IA

On trouvera, à l'Annexe B du rapport original, la liste complète des spécialisations en IA comprises dans la base de données. Le nombre de personnes dans chacune de ces spécialisations est présenté au tableau 10.

Formation

Le tableau 11 indique la formation des répondants.

Expérience

La figure 18 présente le nombre de personnes dans chaque catégorie d'expérience en IA. Étant donné que l'énoncé de la question excluait l'IA, il est possible que les données relatives à l'expérience dans le domaine des applications comprennent des personnes sans expérience proprement dite en IA. Là où cela était évident, nous avons fait les

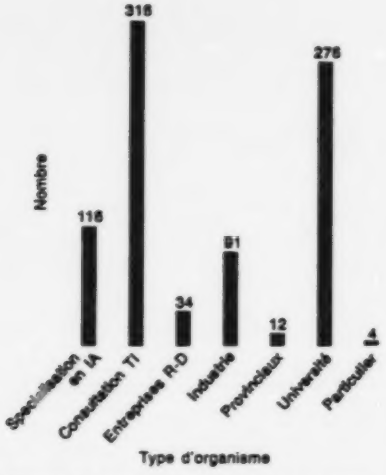


Figure 16. Nombre d'employés a temps plein par type d'organisme.

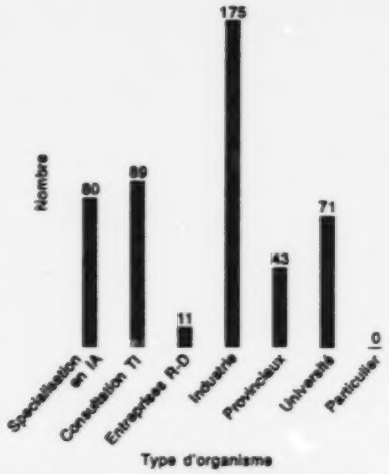


Figure 17. Nombre d'employés a temps partiel par type d'organisme.

Tableau 11. Formation des employés et des étudiants

Formation des employés	Nombre de personnes	Formation des employés	Nombre de personnes
Baccalauréat en IA	164	Cours en IA	417
Maîtrise en IA	308	Maîtrise utilisant l'IA	259
Doctorat en IA	206	Doctorat utilisant l'IA	184

Nota :

1. Le nombre de personnes détenant un doctorat en IA comprend les étudiants inscrits au doctorat, les personnes détenant un doctorat en IA, les professeurs d'informatique et de génie dont l'expérience et la formation équivalent à un doctorat en IA. Les détenteurs de maîtrise en IA comprennent les personnes détenant une maîtrise en IA et les étudiants en maîtrise.

2. Estimant que cette question était discriminatoire, un répondant a refusé d'y répondre. Plusieurs répondants se sont plaints que d'autres diplômes n'étaient pas pris en compte.

3. Certains répondants ont inclus les étudiants en maîtrise dans la catégorie «Maîtrise en IA», tandis que d'autres peuvent les avoir placés dans la catégorie «Baccalauréat en IA», ou les avoir complètement omis. De même, les étudiants inscrits au doctorat peuvent avoir été placés dans les catégories «Maîtrise en IA» ou «Doctorat en IA». Lorsque cela était évident, nous avons apporté les corrections nécessaires; dans les autres cas, il se peut que les données ne soient pas cohérentes.

4. La catégorie «Cours en IA» regroupe les employés qui ont suivi des cours en IA, mais qui ne possèdent pas un diplôme officiel dans ce domaine. Certains répondants ont interprété cette question comme se rapportant au nombre total de cours suivis. Là encore, nous avons fait les corrections nécessaires lorsque cela était évident; il est toutefois possible que certaines erreurs demeurent.

5. Il est possible que toutes les catégories comprennent des intervenants comptés deux fois, notamment dans le cas des étudiants signalés par leur université et par leur employeur.

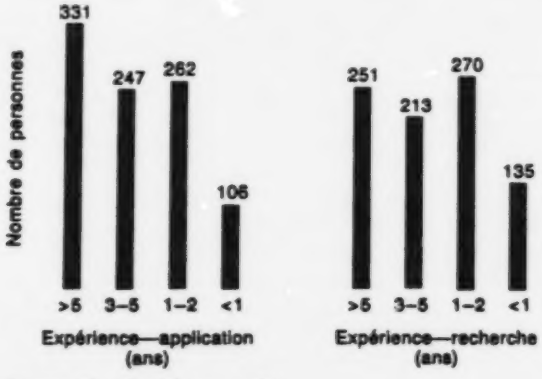


Figure 18. Expérience en IA.

corrections nécessaires. Il se peut que toutes les catégories comportent des erreurs, là où les étudiants ont été signalés et par les universités et par les employeurs.

Ressources disponibles

Une liste complète des types de ressources contractuelles est présentée à l'Annexe E du rapport original. Un aperçu du personnel disponible dans chacune des principales catégories de ressources contractuelles est présenté au tableau 12, suivi du nombre d'organismes intéressés à des postes de conseillers, à des projets coopératifs et à des possibilités de transfert de technologie. L'index des organismes, Annexe F du rapport original, est présenté au tableau 13.

Tableau 12. Ressources disponibles.

	Court terme	Long terme
Chercheurs en IA	119	102
Concepteurs de systèmes IA	427	414
Codeurs de systèmes IA	208	202
Cogniticiens	212	168
Planificateurs stratégiques en IA	82	7
Gestionnaires de projets en IA	13	8
Soutien à la conception de TD pour IA	93	145
Formateurs en IA (séminaires)	14	7
Intégrateurs de systèmes IA	2	5
Nombre d'organismes ou de particuliers intéressés à :		
Travaux de consultation	68	
Projets coopératifs	295	
Possibilités de transfert de technologie	297	

Nota :
1. Les répondants ont souvent inscrit une même personne dans plusieurs catégories; par ex. : une personne peut être un cogniticien qualifié et un concepteur de systèmes IA.
2. Il se peut que les personnes qui travaillent à temps partiel aient été comptées deux fois, en l'occurrence par plus d'un employeur.
3. La catégorie «Soutien à la conception de traitement de données pour l'IA» comprend certaines personnes qui ne sont pas comptées ailleurs : certains organismes ont inscrit dans cette catégorie des employés qui ne travaillent pas dans le domaine de l'IA.

Tableau 13. Organismes.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
222 3000 Inc.	Québec	Québec	Louis Rodrique	(418) 683-4643
4th Wave Computers Ltd.	Toronto	Ontario	M. Peter Caven	(416) 752-5976
AAL Autometrics Associates Ltd.	Victoria	Colombie-Britannique	M. Brian H. Rowbottom	(604) 652-2679
Aark Consultants Ltd.	Chelsea	Québec	Dr Gord Runtz	(819) 827-0054
Aastra Aerospace Inc.	Downsview	Ontario	H. Scholaert	(416) 736-7070
ACDS Systèmes Graphiques Inc.	Hull	Québec	M. Richard Bourgouin	(819) 770-9631
Acquired Intelligence Inc.	Victoria	Colombie-Britannique	Dr Brian Schaefer	(604) 383-8935
Adelphi	Gloucester	Ontario	Charles A. Rovira	(613) 731-1519
ADS Informatique Inc.	Québec	Québec	M. Pierre Baillargeon	(418) 648-0858
Aesir Management & Technologies Ltd.	Thornhill	Ontario	M. H.K. Thadaney	(416) 731-6335
AI Systems Consulting Ltd.	Calgary	Alberta	Michael P. Wingham	(403) 287-2351
AIT Advanced Information Technologies Corporation	Nepean	Ontario	Graeme Jones	(613) 226-7800
Alberta Government Telephones	Edmonton	Alberta	Vera Sanger	(403) 493-4706
Alberta Research Council	Calgary	Alberta	Dr Ernest Chang	(403) 297-2671
Alcan Aluminium Ltée	Montréal	Québec	Vinko Potocnik	(418) 699-3332
AMS Management Systems Canada Inc.	Ottawa	Ontario	M. Martin Laplante	(613) 232-7400
Anaheim Technologies Inc.	Montréal	Québec	Ara Altounian	(514) 745-2272
Andersen Consulting	Toronto	Ontario	William M. Tatham	(416) 947-7773
Andrew Gullen	Toronto	Ontario	Andrew Gullen	(416) 767-3862
Anthony Pau & Associates Inc.	Toronto	Ontario	Anthony Pau	(416) 580-1566
APG Inc.	Ottawa	Ontario	André B. Boissonneault	(613) 782-2225
Applied AI Systems Inc.	Kanata	Ontario	M. Takashi Gomi	(613) 592-3030
ARCS Laboratory	Burnaby	Colombie-Britannique	Bruce Kenny	(604) 432-8585
Array Systems Computing Inc.	Downsview	Ontario	Linda Davis	(416) 736-0900
ART-EXPERT INC.	Laval	Québec	Fadel Fodda	(514) 622-4313
Artificial Intelligence Mgt & Dev. Corp.	Toronto	Ontario	Dr Jack L. Edwards	(416) 488-6068
ASSEAU Inc.	Québec	Québec	François Ouzilleau	(514) 272-0774
Atlantic Nuclear Services Ltd.	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Dr C. Keith Scott	(506) 458-9552
Autonetics Research Associates Inc.	Sooke	Colombie-Britannique	Dr Kathleen H.V. Booth	(604) 642-5352
Avec Technicals Service	Mississauga	Ontario	George Klima	(416) 855-2924
B.C. Advanced Systems Institute	Burnaby	Colombie-Britannique	Jeff Berryman	(604) 435-0551
Behavioral Team	Toronto	Ontario	Dr Ben Barkow	(416) 656-6776
Bishop's University	Lennoxville	Québec	Marc Kaltenbach	
BMP Energy Systems Ltd.	Calgary	Alberta	M. Dana Krause	(403) 234-7979
BNH Expert Engineering Sortware Inc.	St-Laurent	Québec	M. Jihad bahlis	(514) 745-4010
Brant Technologies Inc.	Mississauga	Ontario	Ross G. Hopmans	(416) 238-9790
British Colombia Telephone Company	Burnaby	Colombie-Britannique	Susan Lash	(604) 432-2399
Brock University	Ste-Catharine	Ontario	Dr James Bradford	(416) 688-5550
Brock University	Ste-Catharine	Ontario	Dr Jerzy A. Barchanski	
C-Team Systems Inc.	Nepean	Ontario	M. Don Gribble	(613) 727-8224
CACI Systems and Technology Ltd.	Edmonton	Alberta	Gérald Lavigne	(403) 471-4421
CAE Électronique Ltée	St-Laurent	Québec	Dr Spero Mensah	(514) 341-6780
Campbell & Associates	Telkwa	Colombie-Britannique	Alan N. Campbell	(604) 846-5853
Canadian Astronautics Ltd.	Ottawa	Ontario	Alexander J.M. Baillie	(613) 820-8280
Canadian Marconi Company Ltd.	Montréal	Québec	M. John Haberl	(514) 341-7630

Tableau 13. Suite.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
Canadien National	Montréal	Québec	Peter Bilissis	(514) 399-7003
Cancer Control Agency of British Columbia	Vancouver	Colombie-Britannique	Doug Hoffart	(604) 877-6020
Canpolar East Inc.	St-Jean	Terre-Neuve	E.M. Reimer	(709) 722-6067
Canpolar Inc.	Toronto	Ontario	Dr James R. Rossiter	(416) 487-1581
Cariboo College	Kamloops	Colombie-Britannique	Roelof Kars Brouwer	(604) 828-5219
Carleton University	Ottawa	Ontario	Dr F. Oppacher	(613) 788-4333
Carleton University	Ottawa	Ontario	Dr J.W. Chinneck	(613) 788-5733
Cavalier Information Technologies Systems Ltd.	North Gower	Ontario	M. George Piskor	(613) 489-3747
CDSL (Co-operators Data Services Ltd.)	Regina	Saskatchewan	M. Grandy Rankin	(306) 347-6488
CEMTECH	Ottawa	Ontario	Dr John de Mercado	(613) 722-2222
Centre de recherche informatique de Montréal	Montréal	Québec	Susan Dubé	(514) 848-8686
CGI	Toronto	Ontario	A.E. Thomas	(416) 653-0020
CIBS Corp.	Willowdale	Ontario	J.H. Vowles	(416) 756-1730
Cogentex Inc.	Montréal	Québec	Dr Richard L. Kittredge	(514) 737-4367
Cognex	North York	Ontario	Dr Rainer Von Konigslow	(416) 498-5335
CogniCom	London	Ontario	Zenon W. Pylyshyn	(519) 661-2063
Cognisys Consultants Inc.	Montréal	Québec	Pierre Mychaltchouk	(514) 599-5714
Collège Champlain	St-Georges-de-Windsor	Québec	Pierre Dion	(819) 564-3680
Comdale Technologies Inc.	Toronto	Ontario	Paula Sprentz	(416) 252-2424
Comintel Corp.	Toronto	Ontario	Donald C. Brady	(416) 699-1085
CompEngServ Ltd.	Ottawa	Québec	David G. Bowen	(613) 563-1920
Computer Aided Technology	St-Laurent	Alberta	Joseph Vybihal	(514) 332-4678
Computer-Based Training Systems Ltd.	Calgary	Ontario	Dr M.G. Massey-Hicks	(403) 275-1680
Computing Devices Systems Inc.	Ottawa	Ontario	Dr T. Gajdicar	(613) 596-7292
Concept 5 Computer Systems Inc.	Brampton	Québec	M. Edward J. Cole	(416) 846-4775
Concordia University	Montréal	Québec	Dr C.Y. Suen	(514) 848-3000
CORECO INC.	St-Laurent	Colombie-Britannique	Faraj Nakhleh	(514) 333-1301
Crane Management Consultants Ltd.	Vancouver	Ontario	Derek deBiasio	(604) 688-1245
CRS PLUS	Burlington	Ontario	Joseph Nunn	(415) 639-0086
Curvet Information Systems	Oxford Mills	Ontario	David Shaw	(613) 258-2468
Cyberworks Inc.	Orillia	Ontario	V. Burhanpurkar	(705) 325-6110
Cytechnics Ltd.	Nepean	Alberta	Hazen D. Halverson	(613) 828-4277
D&S Knowledge Systems Inc.	Calgary	Ontario	Dave Jacques	(403) 268-6500
D. Stuart Conger and Associates	Ottawa	Québec	D. Stuart Conger	(513) 729-4913
D.I.L. International Inc.	Sainte-Foy	Nouvelle-Écosse	Claude Labelle	(418) 687-9788
Dalhousie University	Halifax	Nouvelle-Écosse	Alan Gray	(902) 424-3632
Dalhousie University	Halifax	Québec	Dr Jan A. Mulder	(902) 424-3356
Daniel Coudry LNR	Québec	Ontario	Daniel Coudry	(418) 524-2854
Datem Ltd.	Nepean	Ontario	M. James Isaac	(613) 225-5919
Dearborn Chemical Co. Ltd.	Mississauga	Québec	David Young	(415) 279-2222
Delphisoft Inc.	Sainte-Foy	Ontario	M. Franck Schmitt	(418) 653-1765
Deltron Consulting Services Ltd.	Ottawa	Colombie-Britannique	John Fodor	(613) 761-9700
Dewey McMillin & Associates Ltd.	Victoria	Colombie-Britannique	J.M. Dewey	(604) 477-5849
Diamond Software Associates	Burnaby	Ontario	Robin McGillveray	(604) 439-7248
Diffracto Ltd.	Windsor	Ontario	Omer L. Hageniers	(519) 945-6373
Digital Equipment of Canada Ltd.	Toronto		M. Gordon Graham	(415) 597-3181

Tableau 13. Suite.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
Dorval Aviation Software Inc.	Dorval	Québec	Bradley A. Longworth	(514) 633-9078
Dow Chemical Canada Ltd.	Sarnia	Ontario	Dr Nicholas Darby	(519) 339-3922
DTI Telecom Inc.	Montréal	Québec	Daniel Y. Zann	(514) 845-3205
Dynacom Enterprises	Downsview	Ontario	Dr Glen Sincarsin	(415) 667-0505
Eclin Corporation	Mississauga	Ontario	Denis DoNal	(416) 624-2348
Écoles des Hautes Études Commerciales	Montréal	Québec	Claude Chriqui	(514) 343-6484
ECS - Power Systems Inc.	Ottawa	Ontario	François Lemay	(613) 236-3920
Énergie atomique du Canada Ltée	Chalk River	Ontario	Ramnik R. Shah	(613) 584-3311
Énergie Nouveau-Brunswick	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Gene Maillet	(506) 458-3628
Engel & Townsend	Toronto	Ontario	Dr M. Townsend	(416) 698-6376
ESSA Ltd.	Vancouver	Colombie-Britannique	Tim Webb	(604) 689-2912
Expert Solutions	Toronto	Ontario	Dr Peter Davies	(416) 769-5695
Expertware Development Corporation	Victoria	Colombie-Britannique	M. Andrew D. Laks	(604) 381-5955
Feldgajer & Feldgajer Engineering Consultants	Waterloo	Ontario	Oleg Feldgajer	(519) 885-6316
Ferguson Simek Clark	Yellowknife	Territoires du Nord-Ouest	Garry Karst	(403) 920-2882
First Watercount Systems Corp.	Vancouver	Colombie-Britannique	M. Yves Bajard	(604) 876-2440
Fitzpatrick Engineering Ltd.	Edmonton	Alberta	Arthur Fitzpatrick	(403) 438-1581
Fleet Technology	Calgary	Alberta	Dr Alan Murray	(403) 253-4883
Flexpert Systems	Kemptville	Ontario	M. Floyd Kelly	(613) 258-5236
Foretell Technologies Ltd.	Stellarton	Nouvelle-Écosse	M. Vijay Sankar	(902) 755-1884
François H. Martel, M.D.	Cornwall	Ontario	François H. Martel	(613) 937-0497
G. Dentman Computer Specialists Inc.	Leduc	Alberta	Glenn Dentman	(403) 986-3729
Gandalf Data Ltd.	Nepean	Ontario	Zbigniew Mikolajuk	(613) 723-6500
Gellman Hayward & Partners Ltd.	Toronto	Ontario	Dr Harvey Gellman	(416) 862-0430
Gellman Hayward & Partners Ltd.	Calgary	Alberta	David D. Fisher	(403) 233-2713
Geyser Informatics Inc.	Montréal	Québec	Normand Lassonde	(514) 842-5719
Glen Cooper & Associates Ltd.	Vancouver	Colombie-Britannique	Glen Cooper	(604) 681-2054
Godin London Incorporated	London	Ontario	M. Gaétan Godin	(519) 679-8290
Golder Associates	Calgary	Alberta	M. Gordon L. McClymont	(403) 259-3413
Great-West Life Assurance Company	Winnipeg	Manitoba	David Erbach	(204) 946-7461
Homestead Computer Services Ltd.	Winnipeg	Manitoba	Gary Craven	(204) 284-9830
Honeywell Limited Advanced Technology Centre	Markham	Ontario	Dr Blake Reid	(416) 479-5100
Horler Information Inc.	Ottawa	Ontario	Dr David N.H. Horler	(613) 594-5155
Hydro-Québec	Varennes	Québec	Gilles Desrochers	(514) 652-8321
Idon Corporation	Ottawa	Ontario	Herbert G. Bown	(613) 722-8101
IEA Consulting Group Inc.	Charlottetown	Île-du-Prince-Édouard	George W. Mason	(902) 368-5014
Imago Manufacturing Ltd.	Ottawa	Ontario	Roy Ball	(613) 226-7890
Infoknowledge Inc.	Orleans	Ontario	André Hintis	(613) 830-2720
Information Fusion Systems Corporation	Nepean	Ontario	Dr Gregg Van Volkenburgh	(613) 726-0934
Innovus Inc.	Hamilton	Ontario	Robert S. Sciuk	(416) 529-8117
Intellectia	Montréal-Nord	Québec	Houda Araj	(514) 325-7135
Jasco Research Ltd.	Sidney	Colombie-Britannique	Dr J.A. Scrimger	(604) 656-0656
KBA - Knowledge Base Associates	Victoria	Colombie-Britannique	Marie Curtis	(604) 384-6433
KIS Information Systems Inc.	Vancouver	Colombie-Britannique	Carl Rogger	(604) 222-2252
Knoman Consulting	Ottawa	Ontario	Mark Wright	(613) 594-5295
Knowledge Transfer	Ottawa	Ontario	Kay James	(613) 748-9650

Tableau 13. Suite.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
FirstMark Technologies Ltd.	Ottawa	Ontario	M. Barry de Ville	(613) 723-8020
Lafarge Canada Inc.	Woodstock	Ontario	Sam Fujimoto	(519) 423-6241
Lamb Cargate Industries Ltd.	New Westminster	Colombie-Britannique	Ian C. Campbell	(604) 521-8821
Le Groupe Micro-Intel Inc.	Montréal	Québec	Gilbert Paquette	(514) 255-6048
Les Conseillers Masycom Consulting Inc.	Gatineau	Québec	Norma Welch	(819) 561-2354
Les Systèmes Expertex Inc.	Montréal	Québec	Mario Robert	(514) 844-5157
LGS Group Inc.	Montréal	Québec	Jean-François Grou	(514) 861-2673
Lobbe Technologies Ltd.	Regina	Saskatchewan	Dr A.J. Szladow	(306) 586-9400
Loewen Translations	Nepean	Ontario	Victor Loewen	(613) 723-9121
Logicware International	Mississauga	Ontario	Walter Berndl	(416) 629-8801
London Life Information Services	London	Ontario	Terry Wood	(519) 432-5281
LSG Ingénieurs-Conseil en Logiciel Enr.	St-Jean-sur-Richelieu	Québec	Richard Lemire	(514) 346-3762
Luc Michaud	Montréal	Québec	Luc Michaud	(514) 334-3268
MacDonald Dettwiler & Associates Ltd.	Richmond	Colombie-Britannique	Timothy Bult	(604) 278-3411
Machina Sapiens	Montréal	Québec	Claude Coulombe	(514) 733-1095
Maison de Technologies Avancées	Greenfield Park	Québec	Saadeldin El-Sedfy	(514) 445-7363
Manitoba Data Services	Winnipeg	Manitoba	Sharon D. Satz	(204) 946-6681
Manitoba Hydro	Winnipeg	Manitoba	Laura Penner, P. Eng.	(204) 474-3054
Marc Garneau Collegiate Ins.	Don Mills	Ontario	John D. Craig	(416) 429-6166
McCarney Technologies Inc.	Vancouver	Colombie-Britannique	Stefan W. Joseph	(604) 669-7480
McCartney Consultants Ltd.	Toronto	Ontario	M. McCartney	(416) 763-3102
McGill University	Montréal	Québec	Margaret Dlaziel	(514) 398-6319
McGill University	Montréal	Québec	Thomas R. Schultz	(514) 398-6139
McMaster University	Hamilton	Ontario	H.A. El Maraghy	(416) 525-9140
McMaster University	Hamilton	Ontario	Dr Gilles G. Patry	(416) 525-9140
McMaster University	Hamilton	Ontario	Ali-Reza Montazemi	(416) 525-9140
McMaster University	Hamilton	Ontario	Dr S. Poehlman	(416) 525-9140
McMaster University	Hamilton	Ontario	Norman P. Archer	(416) 525-9140
McMaster University Medical Centre	Hamilton	Ontario	Karl Langton	(709) 737-8628
Memorial University of Newfoundland	St-Jean	Terre-Neuve	J.M. Foltz	(613) 738-5813
Metropolitan Life Insurance Company	Ottawa	Ontario	Heather Swayne	(604) 980-5353
MicroLight Graphics Ltd.	Vancouver-Nord	Colombie-Britannique	John Whalen	(506) 458-9553
Microtec Ltd.	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Dr C. Keith Scott	(604) 293-6009
Microtel Pacific Research Ltd.	Burnaby	Colombie-Britannique	Dr Rizman Kheraj	(416) 433-6840
Ministère du Revenu	Oshawa	Ontario	Thomas Boyd	(204) 943-6797
MONAC	Winnipeg	Manitoba	John Craig Muller	(514) 683-1490
MPB Technologies Inc.	Dorval	Québec	Dr M.P. Bachynski	(416) 636-8333
Netron Inc.	Downsview	Ontario	Paul Bassett	(604) 263-3667
Neural Systems Incorporated	Vancouver	Colombie-Britannique	M. Gary Josin	(416) 861-9133
Nidak Associates Inc.	Toronto	Ontario	M. Nigel Stokes	(514) 630-9521
Noranda - Centre de recherche	Pointe-Claire	Québec	Robert Spring	(519) 322-1387
Norman Clark	Leamington	Ontario	Norman Clark	(416) 492-8240
Northern Dynamics Ltd.	North York	Ontario	M. John Finch	(416) 598-0196
Northern Telecom	Toronto	Ontario	L. Baxter	
Nova Scotia Power Corp.	Halifax	Nouvelle-Écosse	E.G. Achorn	
NUTAT Technologies Inc.	Ottawa	Ontario	Tim Boreman	(613) 235-7654

Tableau 13. Suite.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
Oerlikon Aérospatiale Inc.	St-Jean-sur-Richelieu	Québec	Michel Rodrigue	(514) 358-2000
Ontario Hydro	Toronto	Ontario	H.S. Irvine	(416) 592-5539
Paul Egan	Charlottetown	Île-du-Prince-Édouard	Paul Egan	(902) 892-2140
Pedestal Robotics	Montréal	Québec	Howard Schneider	(514) 931-3365
Pierre Michaud, Consultant en informatique	Outremont	Québec	Pierre Michaud	(514) 276-6786
Pratt & Witney Canada Inc.	Longueuil	Québec	Jacques Chelin	(514) 677-9411
Precarn Associates Inc.	Nepean	Ontario	M. Jean-Claude Gravel	(613) 727-9576
Price Waterhouse	Ottawa	Ontario	Olivier Kent	(613) 238-8200
Procter & Gamble Canada Inc.	Hamilton	Ontario	Ralph J. Van Engelen	(416) 545-1121
Prof. Michael Jenkin	Downsview	Ontario	Mike Jenkins	(416) 736-5053
PROGICIELS Bourbeau Pinard Inc.	Montréal	Québec	Laurent Bourbeau	(514) 276-5382
QMC	Ottawa	Ontario	Hans Witte	(613) 233-3089
Queen's University	Kingston	Ontario	M.A. Jenkin	(613) 545-6073
Queen's University	Kingston	Ontario	Brian Surgenor	(613) 545-2568
Queen's University	Kingston	Ontario	Randy Ellis	
QuesTech North American Ltd.	Manotick	Ontario	Keith Migdal	(613) 692-0885
Quilchena Consulting Ltd.	Victoria	Colombie-Britannique	Anthony K. Copping	(604) 721-2205
Quinte Learning Centre	Belleville	Ontario	Michael Maloney	(613) 966-5603
R. Purdy Associates	Winnipeg	Manitoba	Robert D. Purdy	(204) 488-3651
Range-Imaging Vision Systems Inc.		Colombie-Britannique	Curt Lang	(604) 986-7799
Red River Community College	Winnipeg	Manitoba	Alan H. Robbins	(204) 632-2429
Rhodes and Associates, Human Factors	Willowdale	Ontario	D[r] Wayne Rhodes	(416) 494-2816
Rockwood Informatics	Kanata	Ontario	Philip J. Vincent	(613) 592-6726
Ron Gershon	Willowdale	Ontario	D[r] Ron Gershon	(416) 663-4048
RSI Robotic Systems International Ltd.	Sidney	Colombie-Britannique	Jack Wilson	(604) 656-0101
RTS Real Time Systems Inc.	Toronto	Ontario	Frank Simtob	(416) 449-5931
Ryerson Polytechnical Institute	Toronto	Ontario	R. Greer Lavery, P. Eng.	(416) 979-5063
S.L. Ross Environmental Research Ltd.	Ottawa	Ontario	Randy Belore	(613) 232-1564
Sanctuary Woods Inc.	Dunrobin	Ontario	Brian Beninger	(613) 832-3104
SED Systems Inc.	Saskatoon	Saskatchewan	Eldon Wig	(306) 933-1506
Seimac Limited and Oceanroutes Canada Inc.	Dartmouth	Nouvelle-Écosse	Geoffrey P. Allen	(902) 468-3007
Semantax Corp.	Montréal	Québec	Conrad F. Sabourin	(514) 731-4266
Senes Consultants Ltd.	Toronto	Ontario	Bruce Powers	(416) 764-9380
Serdek Automated Systems Inc.	Chatham	Ontario	Ron Dekker	(519) 351-4230
Serdula Systems Ltd.	Deep River	Ontario	Kenneth Serdula	(613) 584-4588
Shell Canada	Calgary	Alberta	Wally Reimer	(403) 232-4231
Sierra Systems Consultants Inc.	Vancouver	Colombie-Britannique	Don Schellenberg	(604) 688-1371
Silico Computer Systems Ltd.	Nepean	Ontario	Gerald J. Scarcella	(613) 727-0465
Simon Fraser University	Burnaby	Colombie-Britannique	D[r] Nick Cercone	(604) 291-3229
Simon Fraser University	Burnaby	Colombie-Britannique	D[r] John Dewey Jones	(604) 291-4679
Simulations Canada	Bridgewater	Nouvelle-Écosse	Stephen Newberg	(902) 688-2808
Simulcalc Inc.	Trois-Rivières	Québec	Denis Carrier	(819) 372-9617
Softwords, division de Press Porcepic Ltd.	Victoria	Colombie-Britannique	Ellen Godfrey	(604) 727-6522
Spar Aerospace Ltd.	Weston	Ontario	D[r] I.H. Rowe	(416) 856-4552
SPS	Ottawa	Ontario	W. Caswell	(613) 238-1700
Sussex Informatics Ltd.	Ottawa	Ontario	Brian Hierlihy	(613) 230-5444

Tableau 13. Suite.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
System Builders	Ottawa	Ontario	Peter Fisk	(613) 230-4067
Systèmes Métavision	Montréal	Québec	Joseph Heath	(514) 284-2840
SystemHouse	Ottawa	Ontario	Paul Renaud	(613) 236-9734
Systems Interface Inc.	Nepean	Ontario	B. Dowdall	(416) 727-5001
TDK Consulting Services	Kitchener	Ontario	Tim Kuehn	(519) 741-3623
Technical Security Service (TSS)	Winnipeg	Manitoba	Tony K. Mirza	(204) 944-8181
Technical University of Nova Scotia	Halifax	Nouvelle-Écosse	Dr J. Barzilai	(902) 420-7573
Techno Scientific Inc.	Woodbridge	Ontario	Dr Mirek Macecek	(416) 851-9958
Technogram Inc.	Chicoutimi	Québec	Jeffrey R. Machan	(418) 696-2164
Teknica Resource Development Ltd.	Calgary	Alberta	Don Schieman	(403) 269-4386
Tektrend International Inc.	St-Laurent	Québec	D. Robert Hay	(514) 333-7371
The Herongate Group Inc.	London	Ontario	Susan M. Gardner	(519) 472-1855
The Laser Center Incorporated	Calgary	Alberta	Joyce Hodgson	(403) 251-6804
The Ontario Institute for Studies in Education	Toronto	Ontario	George Tracz	(416) 923-6641
Theos Philos Teknikos Ltd.	Scarborough	Ontario	Michael J. Sutton	(416) 694-0167
Thomas International Inc.	Ottawa	Ontario	Grant Thomas	(613) 749-4873
TransAlta Utilities Corporation	Calgary	Alberta	Mike Blakely	(403) 267-7582
Trent University	Peterborough	Ontario	Dr S. Regoczei	(705) 748-1495
TRI Telepresence Research Inc, International Telepresence	Vancouver	Colombie-Britannique	Tom Mitchell	(604) 873-3300
Unitran Systems Inc.	Nepean	Ontario	Alan Cranshaw	(613) 228-0858
Université d'Ottawa	Ottawa	Ontario	George M. White	(613) 564-2940
Université d'Ottawa	Ottawa	Ontario	Dr Dan Ionescu	(613) 564-2211
Université de Moncton	Moncton	Nouveau-Brunswick	Réjean Hall, ing.	(506) 858-4307
Université de Montréal	Montréal	Québec	Patrick Cavanagh	(514) 343-6154
Université de Montréal	Montréal	Québec	Dr Jean G. Vaucher	(514) 343-7092
Université de Montréal	Montréal	Québec	Dr Claude Frasson	(514) 343-7019
Université de Montréal	Montréal	Québec	Dr Jan Gecsei	(514) 343-6509
Université de Montréal	Montréal	Québec	Dr Jean-Charles Bernard	(514) 343-4723
Université de Montréal	Montréal	Québec	Michel Boyer	(514) 343-6804
Université de Montréal	Montréal	Québec	Daniel Poulin	(514) 343-2136
Université de Montréal	Montréal	Québec	Guy Lapalme	(514) 343-7220
Université de Montréal	Montréal	Québec	Bernard Lefebvre	(514) 343-7477
Université de Montréal	Montréal	Québec	Danièle Archambault	(514) 343-7041
Université de Montréal	Montréal	Québec	George W. Baylor	(514) 343-7633
Université de Montréal	Montréal	Québec	Paul Bratley	(514) 343-7478
Université de Montréal	Montréal	Québec	Aude Dufresne	(514) 343-7303
Université de Montréal	Montréal	Québec	Luc Giroux	(514) 343-7303
Université de Montréal	Montréal	Québec	Serge Larochelle	(514) 343-7633
Université de Montréal	Montréal	Québec	Gisèle Lemoyne	(514) 343-7889
Université de Montréal	Montréal	Québec	Jean-Yves Morin	(514) 343-7931
Université de Montréal	Montréal	Québec	Régine Pierre	(514) 343-7246
Université de Montréal	Montréal	Québec	Neil Frederick Stewart	(514) 343 7483
Université de Montréal	Montréal	Québec	François Major	(514) 343-7508
Université du Québec à Montréal	Montréal	Québec	Claude Thomasset	(514) 987-8397
Université du Québec à Trois-Rivières	Trois-Rivières	Québec	Sylvain Delisle	(613) 564-5420

Tableau 13. Suite.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Dr Denis Poussart	(418) 656-3554
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Prof. Bernard Moulin	(418) 656-5580
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Jean Roy	(418) 656-5472
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Laurent Gauthier	(418) 656-2662
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Denise Deshaies	(613) 656-5506
Université Laval	Sainte-foy	Québec	Pierre Maranda	(418) 656-7687
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Gilles Lemire	(418) 656-3651
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Jean Serodes	(418) 656-2868
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Stanislaw Tarasiewicz	(418) 656-2106
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Diane Huot	(418) 656-7468
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Bernard R. Hodgson	(418) 656-2975
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Henri H. Arsenault	(418) 656-2650
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Frédéric Flament	(418) 656-2431
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	André Turmel	(418) 656-3074
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	Jacques Imbeau	(418) 656-3100
Université Laval	Sainte-Foy	Québec	François Bergeron	(418) 656-7940
University of Alberta	Edmonton	Alberta	Jean-Marc Suret	(418) 656-7134
University of Alberta	Edmonton	Alberta	Dr Renée Elio	
University of Alberta	Edmonton	Alberta	Dr Tony A. Marsland	(403) 492-3971
University of Alberta Hospitals	Edmonton	Alberta	Leonard Cheng	(403) 476-9766
University of British Colombia	Vancouver	Colombie-Britannique	Dr D. Menon	(403) 492-6843
University of British Colombia	Vancouver	Colombie-Britannique	Dr D.G. Lowe	(604) 228-3170
University of British Colombia	Vancouver	Colombie-Britannique	Daphne Gelbar	(604) 228-5028
University of British Colombia	Vancouver	Colombie-Britannique	Dr Samuel C. Coval	(604) 228-6481
University of British Colombia	Vancouver	Colombie-Britannique	Dr Richard S. Rosenberg	(604) 228-4142
University of British Colombia	Vancouver	Colombie-Britannique	Dr Frank Navin	(604) 228-3158
University of Calgary	Calgary	Alberta	Dr S.F. Stiemer	(604) 228-6301
University of Calgary	Calgary	Alberta	Robert C. Goldstein	(604) 224-8389
University of Calgary	Calgary	Alberta	Dr Ian H. Witten	(403) 220-6780
University of Guelph	Guelph	Ontario	Dr Edward J. Krakiwsky	(403) 220-7878
University of Guelph	Guelph	Ontario	David R. Hill	(403) 282-6481
University of Manitoba	Winnipeg	Manitoba	Dr Mary McLeish	(519) 824-4120
University of Manitoba	Winnipeg	Manitoba	David Chiu	(519) 824-4120
University of New Brunswick	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Dr Simonovic P. Slobodan	(204) 474-6443
University of New Brunswick	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Dr Mark Evans	(204) 474-8313
University of New Brunswick	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Dr Bradford G. Nickerson	(506) 453-4566
University of New Brunswick	Fredericton	Nouveau-Brunswick	Christopher Bayly	(506) 453-4776
University of Ottawa	Ottawa	Ontario	Evelyn W. Richards	(506) 453-3533
University of Ottawa	Ottawa	Ontario	Dr John Christian, PhD, P.Eng.	(506) 453-4521
University of Ottawa	Ottawa	Ontario	Dr S.J. Matwin	(613) 564-5069
University of Ottawa	Ottawa	Ontario	Dr Douglas R. Skuce	(613) 564-5418
University of Ottawa	Ottawa	Ontario	Dr Stan Szpakowicz	(613) 564-2450
University of Saskatchewan	Saskatoon	Saskatchewan	Dr Tuncer Oren	(613) 564-5068
University of Saskatchewan	Saskatoon	Saskatchewan	Dr E. Petriu, PhD., P. Eng.	(613) 564-2497
			Dr M.M. Gupta	(306) 966-5451
			Dr G. McCalla	(306) 966-8655

Tableau 13. Suite et fin.

Organisme	Ville	Province	Personne ressource	Téléphone
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr J.K. Tsotsos	(416) 978-3619
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr John Mylopoulos	(416) 978-5180
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr R. Reiter	(416) 978-6324
University of Toronto	Toronto	Ontario	Hector Lévesque	(416) 978-3618
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr Graeme Hirst	(416) 978-8747
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr Russel Greiner	(416) 978-6277
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr E. Milios	(416) 978-6114
University of Toronto	Toronto	Ontario	Dr L. Burhan Turksen, PhD, P. Eng.	(416) 978-8214
University of Toronto	Downsview	Ontario	G.M.T. D'Eleuterio	(416) 667-7707
University of Victoria	Victoria	Colombie-Britannique	Kin Fun Li	(604) 721-8683
University of Waterloo	Waterloo	Ontario	Dr Robin Cohen	(519) 888-4457
University of Waterloo	Waterloo	Ontario	Ed Jernigan	(519) 888-4646
University of Waterloo	Waterloo	Ontario	Lindsay Patten	(519) 885-1211
University of Waterloo	Waterloo	Ontario	Dr Grantham Pang	(519) 885-1211
University of Waterloo	Waterloo	Ontario	Sanjeev Bedi	(519) 885-1211
University of Western Ontario	London	Ontario	Dr Zenon W. Pylyshyn	(519) 661-2063
University of Western Ontario	London	Ontario	Dr Martin J. Stillman	(519) 661-3821
University of Western Ontario	London	Ontario	Dr L. Gargantini	(519) 661-3563
University of Windsor	Windsor	Ontario	David D. Reynolds	(519) 253-4232
Urbanprobe Associates Ltd.	Toronto	Ontario	G. Bauz	(416) 963-8351
UTL Canada Ltd.	Kanata	Ontario	Edwards S. Richmond	(613) 591-3474
Vadeko International Inc.	Mississauga	Ontario	Dr Peter Wright	(416) 821-3222
Valcom Ltd.	Ottawa	Ontario	Eric Alain	(613) 594-4563
VCS Technologies Inc.	Calgary	Alberta	Dan Paslawski	(403) 234-8711
W. James Porcher Contulting Ltd.	Toronto	Ontario	W. James Porcher	(416) 947-0108
W.E. Thorp Associates Ltd.	Ottawa	Ontario	W. Thorp	(613) 729-6978
Wastart Limited	Guelph	Ontario	Larry Whittle	(519) 763-6443
Wayne Powell	Delta	Colombie-Britannique	Wayne Powell	(604) 583-3048
Xerox Canada Inc.	North York	Ontario	Bryan M. Kramer	(416) 733-6377
Xerox Research Center of Canada	Mississauga	Ontario	Michael A. Hopper	(416) 823-7091
Yukon College	Whitehorse	Yukon	Glenn Piwowar	(403) 668-5509

Annex 2 : La Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur

La Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur (SCEIO) a été fondée en 1973. A l'origine, elle réunissait un petit groupe de chercheurs universitaires et d'étudiants diplômés intéressés à l'IA. Depuis, la Société a connu une expansion considérable et elle compte maintenant des membres au sein du secteur public et du milieu de l'industrie et du commerce.

La Société compte maintenant 800 membres environ, la plupart du Canada; elle accueille aussi les membres de l'étranger. En fait, nous organisons régulièrement des échanges de communications entre la revue *Intelligence artificielle au Canada* et une publication européenne équivalente.

La SCEIO est un groupe d'intérêt spécial de l'Association canadienne de l'informatique (ACI) qui a pour mandat de promouvoir les activités en IA. Elle organise des ateliers ainsi qu'une conférence nationale bisannuelle. Elle publie également une revue trimestrielle, *Intelligence artificielle au Canada*, et parraine la publication *Computational Intelligence*.

Nous avons entrepris les préparatifs de la 8e Conférence de la SCEIO, qui aura lieu à l'université d'Ottawa, du 22 au 25 mai 1990. Il y aura un programme de communications techniques, des conférenciers invités et une exposition. Une journée entière sera en outre consacrée aux présentations de tutoriels. La Société a déjà tenu des conférences à Edmonton (Alberta, 1988), à Montréal (Québec, 1986) et London (Ontario, 1984).

L'un des principaux avantages de l'adhésion à la SCEIO est l'abonnement gratuit à la revue *Intelligence artificielle au Canada*. Cette publication qui a été lancée en 1974 sous le titre *CSCSI/ SCEIO Newsletter*, a été renouvelée en 1984 grâce aux efforts du professeur Graeme Hirst de l'université de Toronto. Les derniers numéros ont été réalisés à Calgary, avec l'aide du Conseil de recherches de l'Alberta. Ce magazine renferme des articles d'intérêt général, des descriptions de travaux de recherche et de cours, des comptes rendus de conférences et d'ateliers, des nouvelles concernant les entreprises et les produits en IA, des messages publicitaires ainsi que des annonces d'activités à venir.

La revue *Intelligence artificielle au Canada* renferme également une chronique régulière intitulée «World Watch on AI Applications and Developments», qui est préparée par le secrétariat du Comité associé de l'intelligence artificielle du CNRC.

Pour de plus amples renseignements sur la SCEIO, s'adresser à :

Association canadienne de l'informatique (siège social)
243, rue College, 5e étage
Toronto (Ontario)
M5T 2Y1
Téléphone : (416) 593-4040

Annex 3: Computational Intelligence

Rédacteurs en chef : N. Cercone, G. McCalla

Collaborateurs : L. Bolc, V. Dahl, K. Fuchi, B. Grosz, A. Mackworth, J. Mylopoulos, A. Ortony, R. Perrault, Z. Pylyshyn, R. Reiter, L. Rendell, E. Sandewall, L. Schubert, A. Sloman, N.S. Sridharan, J. Tsotsos, B.L. Webber, D. Wilkins et R. Woodham.

Organe officiel de la Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur (SCEIO), *Computational Intelligence* est une publication trimestrielle qui a été lancée en 1985 par le Conseil national de recherches du Canada. On y trouve des comptes rendus de recherches théoriques et expérimentales de haut calibre en intelligence artificielle. La direction de la revue invite les chercheurs à lui soumettre des articles sur les sujets suivants : représentation des connaissances, compréhension des langages naturels, vision artificielle, applications de l'intelligence artificielle, programmation logique, démonstration de théorèmes, apprentissage, cognitique, résolution de problèmes et planification, langages et outils IA, compréhension de la parole, jeux, considérations philosophiques, et fondements de l'intelligence artificielle. Trois numéros spéciaux ont paru en 1988 : «Taking Issue: an inquiry into Computer Understanding» (février), «AI in France» (mai) et «Planning» (novembre). Il s'agit d'une revue de calibre international qui est rapidement en train de devenir l'une des principales publications sur l'IA dans le monde.

Computational Intelligence est une publication trimestrielle. Le prix de l'abonnement pour 1990 est de 48 $ pour les particuliers et de 120 $ pour les organismes et institutions.

Annex 4 : Comité associé de l'intelligence artificielle, Conseil national de recherches du Canada

Le Comité associé de l'intelligence artificielle (IA) du CNRC a été créé en avril 1987 pour servir de point de convergence et de tribune nationale pour débattre des questions d'intérêt national préoccupant les milieux scientifiques et techniques.

Depuis de nombreuses années, au CNRC, des comités associés de pareille nature servent à des fins semblables en rapport avec toutes sortes de sujets. Il existe actuellement au CNRC des comités associés qui s'intéressent à toute une gamme de sujets comme l'astronomie, la biotechnologie, la gestion des feux de forêts, la toxicologie et la recherche spatiale.

L'intelligence artificielle est une branche de l'informatique qui se rapporte à la capacité des ordinateurs d'effectuer des tâches intelligentes, comme celles qui exigent des fonctions de reconnaissance, de raisonnement et d'apprentissage. La recherche sur l'IA et ses applications cherche à incorporer des aptitudes et des compétences humaines dans des systèmes informatiques. Beaucoup de gens estiment que les applications de l'IA sont presque illimitées; elles comprennent notamment :

- le traitement du langage naturel;
- la traduction automatique;
- les systèmes experts, comme ceux qui servent au diagnostic et au traitement des maladies, à la surveillance et au diagnostic des défectuosités dans l'équipement, les installations industrielles, les réseaux de télécommunications et les installations des centrales électriques;
- l'établissement du calendrier d'exécution des tâches et la planification des procédés dans le domaine de la fabrication;
- les robots et autres systèmes autonomes dotés d'une vision ou d'autres types de capteurs leur permettant de s'adapter à des changements dans le milieu externe.

Attributions

Les attributions du comité sont les suivantes :

1. Réunir des spécialistes de diverses disciplines oeuvrant dans le domaine de l'intelligence artificielle afin de formuler des lignes directrices pour la recherche et le développement, l'accent étant mis sur les applications commerciales, industrielles et sociales susceptibles de profiter au Canada.
2. Fournir des conseils sur des arrangements possibles en vue de coordonner les activités pertinentes de recherche et de développement réalisées dans les universités, les laboratoires gouvernementaux et l'industrie, en vue d'établir une forte compétence canadienne.
3. Faire des recommandations au Conseil national de recherches, aux ministères fédéraux et à d'autres organismes quant aux besoins en matière de recherche et de développement dans le domaine de l'intelligence artificielle.
4. Mettre sur pied des sous-comités chargés d'étudier des problèmes spécifiques, selon les besoins.
5. Servir de centre de convergence pour le maintien et la diffusion de l'information technique aux niveaux national et international dans le domaine de l'intelligence artificielle, surtout lorsque cela servirait à aider et encourager les sociétés et organisations techniques existantes qui pourraient éventuellement poursuivre de telles activités avec leurs propres ressources.
6. S'occuper de toute autre tâche qui pourrait lui être confiée de temps en temps par le Conseil national de recherches.

Membres

Les membres du CAIA du CNRC ne reçoivent ni rémunération ni honoraires, mais leurs dépenses de voyage sont remboursées selon les taux courants du gouvernement pour ce qui est des coûts supportés par les membres pour s'occuper des affaires du comité ou pour assister à des réunions. Le comité se réunit normalement quatre fois par année. Les membres sont choisis de manière à bien représenter chacun des aspects du domaine ainsi que tous les secteurs, y compris l'industrie, le secteur universitaire et les gouvernements dans toutes les régions du Canada. Le comité comprend également des particuliers représentant autant d'organismes et d'associations possibles s'intéressant à l'IA afin d'éviter qu'il y ait dédoublement et pour compléter le travail des autres.

Principaux secteurs d'activité

Le comité a préparé un document de travail faisant état de ses plans et activités possibles. Les principaux secteurs prioritaires comprennent les suivants :

- Encourager une collaboration plus étroite entre les utilisateurs de l'IA et les chercheurs au sein des universités et des laboratoires du gouvernement qui oeuvrent dans le domaine de l'IA.
- Donner des conseils au gouvernement fédéral en ce qui concerne la planification stratégique applicable à l'IA et à d'autres technologies de l'informatique.
- Donner avis au Conseil national de recherches en ce qui a trait à l'élaboration de son programme de R-D axé sur les applications de l'automatique et de l'intelligence artificielle.

Membres du Comité associé de l'intelligence artificielle 1989–1990

M. L. Bolger
Shell Canada Ltée
Calgary (Alberta)

Dr Marie-Michèle Boulet
Université Laval
Québec (Québec)

Dr N. Cercone
Université Simon Fraser
Burnaby (Colombie-Britannique)

Dr E. Chang
Conseil de recherches de l'Alberta
Calgary (Alberta)

Dr R. De Mori (Ancien président)
Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM)
Montréal (Québec)

M. P.G. George
MacDonald Dettwiler and Associates Ltd.
Richmond (Colombie-Britannique)

M. K. Hayes
Congrès du travail du Canada
Ottawa (Ontario)

Dr E.G. Manning
Université de Victoria
Victoria (Colombie-Britannique)

M. R. Manoliu
Hydro-Québec
Montréal (Québec)

Dr G. McCalla
Université de la Saskatchewan
Saskatoon (Saskatchewan)

Dr G.M. MacNabb
PRECARN Associates Inc.
Nepean (Ontario)

Dr J. Mulder
Université Dalhousie
Halifax (Nouvelle-Écosse)

Dr R. Peacocke
Recherches Bell-Northern
Ottawa (Ontario)

Prof. Z. Pylyshyn
Université Western Ontario
London (Ontario)

M. J. Scrimgeour (Secrétaire)
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)

M. G.F. Sekely
Canadien Pacifique
Toronto (Ontario)

Dr B.J. Smith
Acquired Intelligence
Victoria (Colombie-Britannique)

M. G. Thomas (Président)
Price Waterhouse
Ottawa (Ontario)

Ont également contribué à la préparation du présent mémoire :

Mme C. Baginski
Canadien Pacifique
Toronto (Ontario)

M. David G. Bower
CompEngServ Ltd.
Ottawa (Ontario)

Dr A.E. Collin
Institut canadien de recherches avancées
Ottawa (Ontario)

M. V. DiCiccio
Université de Waterloo
Waterloo (Ontario)

M. Marcel Drouin
Centre canadien de recherche sur l'information du travail
Laval (Québec)

M. A. Dubois
Industrie, Sciences et Technologie Canada
Ottawa (Ontario)

Dr David G. Goodenough
Énergie, Mines and Ressources Canada
Ottawa (Ontario)

M. Gordon Graham
Digital Equipment of Canada Ltd.
Willowdale (Ontario)

Mme Ann Griffith
Applied AI Systems, Inc
Kanata (Ontario)

M. Eugene Hill
Université de Nouveau-Brunswick
Fredericton (Nouveau-Brunsick)

Dr Zachary Jacobson
Groupe des conseillers gouvernementaux
Ottawa (Ontario)

M. Elo Laugesen
Banque royale du Canada
Toronto (Ontario)

M. André Lemire
Hydro-Québec
Montréal (Québec)

M. R.T. Lewis
Transports Canada
Ottawa (Ontario)

Dr S. MacLean
Agence spatiale canadienne
Ottawa (Ontario)

M. S.A. Mayman
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)

M. Bryan K. Patterson
Énergie Nouveau-Brunswick
Point Lepreau (Nouveau-Brunswick)

Dr Dorothy Phillips
Centre de recherches sur les communications
Ministère des Communications
Ottawa (Ontario)

M. Wally Reimer
Shell Canada Ltd.
Calgary (Alberta)

M. Vincent Taylor
Quartier général de la Défense nationale
Ministère de la Défense nationale
Ottawa (Ontario)

Mme J. Walden
Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNGC)
Ottawa (Ontario)

Annex 5 : Références bibliographiques et documents connexes

1. *Proceedings of the Workshop on the Application of Expert Systems to Transportation Research & Development Directorate (Compte rendu de l'atelier sur l'application des systèmes experts)*. Direction de recherche et développement dans les transports, Transports Canada, décembre 1985.

2. *Expert Systems: Their Application in the Canadian Transportation Sector*, TP 7328E. Préparé par Cognos Advanced Technology and Applied AI Systems pour le compte du directeur général, Recherche et développement, Transports Canada, Ottawa, janvier 1986.

3. *La traduction automatique et le traitement des langues naturelles — Créneaux pour l'intelligence artificielle au Canada*. Préparé par Cognos, février 1985. Disponible auprès du ministère des Communications et du Secrétariat d'État du Canada, Ottawa.

4. *L'Intelligence artificielle au Québec — Références utiles*, Direction générale des politiques, ministère des Communications, Gouvernement du Québec, Québec, mai 1986.

5. *Point de vue québécois sur l'intelligence artificielle*, Richard Parent pour le ministère des Communications du Québec, Québec, 1984. ISBN 2-550-11473-6.

6. *Opportunities for the Use of Artificial Intelligence Systems within the Government of Canada*, Nordicity Group et Canadian Artificial Intelligence Products Corp., pour le ministère d'État à la Science et à la Technologie, Ottawa, août 1986.

7. Scrimgeour, J., «Robotics», *The Canadian Encyclopedia*, 2e édition. Hurtig Publishers Limited, Edmonton (Alberta), 1988, p. 1881.

8. Goldenberg, A., *Un guide-index de la recherche et du développement en robotique au Canada*, Division de génie électrique, rapport ERB-978, Conseil national de recherches du Canada. NRCC 24470 (anglais), NRCC 23371 (français), Ottawa (Ontario).

Section 7

Index

Index

Accord automatique des paramètres 13
ACQUIRE 147–148
Acquired Intelligence Inc. 12, 66, 147–149
Acquisition
  des connaissances 4, 6, 10, 12, 25, 33, 36, 64, 69–70, 73, 91–92, 105, 108–110, 117, 147–148, 161, 183–184
  des données 96
  des images 48
Adamovits, P.J. 67–68
ADER
  Voir Programme d'aide au développement économique régional
Affaires 3–4, 12, 15, 34, 54, 56, 145, 147, 150, 164, 182–183, 202
Agence de promotion du Canada Atlantique 56
Agence spatiale canadienne 5, 63–68, 93, 97, 100, 148
Alberta Government Telephones 97, 99
Alberta Research Council 8, 43, 97–101, 124, 128, 175, 202
Alcan Internationale Limitée 43–44
Alleliunas, R. 130
Allemagne 27
AMETHYST 69–70
Analyse
  criminologique 91
  des configurations 9–10, 98, 117
  des données 7, 10, 93, 99, 163–164
  des formes 11, 128
  des images 4, 9, 12, 39, 76–77, 137–139, 175
  du mouvement 11, 39, 105, 128
  de toxicité 8
Applications
  analyse du mouvement 4, 39, 129, 135
  analyse des données sur les tremblements de terre 10, 117
  assurance médicale 70
  biologie 37, 116
  broyage par clinker 7, 84
  cartographie 7, 33, 80–81, 174
  classification des navires 73
  commande de la température 15, 96, 178
  composition musical 11, 125
  comptabilité 181
  consultation 15, 181
  contremesures pour mines 74
  contrôle de la circulation 104
  démonstrateurs de théorèmes 124, 203
  dépôts de goudron 4, 34
  détection des champs de mines 74
  détection des nuages 76, 78
  diagnostic des maladies hépatiques des petits animaux 10, 119
  diagnostic médical 8, 19, 45, 93, 133, 204
  forage minier 44–45
  gestion des communications 73
  gestion des déversements chimiques 75
  gestion des déversements dangereux 9, 100
  gestion du nettoyage des déversements de pétrole 102
  gestion des systèmes d'égout 11, 124
  gestion des trains 102, 159
  identification des parasites 9, 96
  incendies 103
  intervention en cas d'urgence 7, 74, 100
  lixiviation du zinc 7, 84
  maintenance des aéronefs 8, 11, 92, 100, 124
  mines à ciel ouvert 8, 96
  moulin de réduction à froid 164
  océanographie 161
  opération laitières 148
  photo-interprétation 7, 19, 78–79, 105, 175
  planification budgétaire planning 7, 74
  planification du trajet robotique 8, 48, 51, 94
  poursuite, capture et arrimage de la charge utile 6, 64
  rapport d'occurrence 160
  réactions aux médicaments 120
  recherche et sauvetage 74
  résolution des problèmes 65, 148, 157, 203
  rétablissement de l'alimentation 15, 177
  systèmes de guerre 8, 89, 180
  techniques 51
  télécommunications par satellite 73
  traitement de la colique équine 10, 118
  traitement des données de satellite 7, 14, 98, 138, 161, 174
  traitement du minerai 44–45, 83
  usines de papier kraft 4, 34
  Voir aussi Systèmes conseillers, Systèmes de diagnostic, Systèmes experts, Systèmes à base de connaissances, Systèmes de surveillance, Systèmes de planification, Systèmes de vision
Applied AI Systems, Inc 11, 150–151, 207
Apprentissage 6, 9–10, 12, 25, 66–67, 73, 97, 105, 119, 128–129, 142, 203–204 147–149
  assisté par ordinateur 90
  connexioniste 48
  fondé sur explications 111, 129
  géré par ordinateur 98–99
  incitatif 74
  inductif 36, 117
  machine 6, 8, 10, 67–68, 74, 78, 91, 98, 108, 110–111, 119, 132, 147–148, 164
  par l'exemple 91
  par concertation 98
Approche floue 119
Architecture 50
  connexioniste 113, 132–133
  de calcul 26
  parallèle 10, 67, 113, 116, 140–142
  pipe-line 10
  système 156
  tableau noir 119
  VLSI 113
ARIES
  Voir Laboratoire de recherches avancées sur les systèmes tuteurs intelligents
Arithmétique des intervalles 10, 113
ART
  Voir Outil de raisonnement automatisé
ASC
  Voir Agence spatiale canadienne
Assistant de météorologue pour la prédiction des précipitations 174
Association canadienne de l'informatique 106, 202
Association des organisations provinciales de recherche 96
Ateliers 10, 27–28, 34, 42, 60, 97, 106, 110, 202
Attention
  haptique 38, 123
  sélective 4, 37
Australie 15, 27, 112, 119, 163, 180
AutoCAD 99, 170
AutoIntelligence 109
Automatisation 9, 51, 65, 97–99
  de l'acquisition des connaissances 10
  au bureau 6, 69–70, 110
  de la cognitique 33
  de la détection des caractéristiques 73

fabrication 96
de la navigation 150
des opérations maritimes 12
des procédés industriels 51, 83, 155–156
des systèmes de distribution de l'énergie 177
des théories linguistiques 131
de la traduction 70–71
Autriche 119
Avantages de l'IA 19–20, 98, 130, 166, 184, 204

Bactériologie 118
Baginski, C. 160, 205
Banque Royale du Canada 15, 182
Barron, J. 39, 137
Base de connaissances
grande taille 33–34, 36
orientée objet 110
Bases de données d'images 36
Bayoumi, M.M. 51, 122–123
BCG
Voir Bureau des conseillers en gestion
BCW Systems Ltd. 93
Bélanger, P.R. 50, 157
Bell Canada 11, 126, 152
Bhattacharya, B. 130
Bibel, W. 31
Biomédecine 45, 47, 96, 129
Voir aussi Médecine
Biotechnologie 55, 99
Blevis, E. 125
Blostein, D. 38, 122, 125
Boeing, services informatiques 109
Bolc, L. 203
Bolger, L. 205
Boulet, M.-M. 205
Bowen, D.G. 162, 205
Boyle, R.W. 88
Brachman, R. 31
Brahan, J.W. 95
Brainmaker 81
Brassard, D. 82
Bristol Aerospace Limited 43–44
British Columbia Advanced Systems Institute 27, 43–44, 96, 176
British Columbia Hydro 43
British Columbia Research Council 96
Brouillage électromagnétique 8, 13, 161
Browse, R. 4, 31, 38, 122–123
Buchal, R.O. 51
Bult, T. 176
Bureau de dépannage 15, 159, 180, 184
Bureau des conseillers en gestion 8, 89

C 90, 100, 119–120, 147, 158
C++ 90, 162
CAE Electronics Ltd. 12–13, 43, 63, 135, 155–158
Caelli, T. 122
CAIA
Voir Comité associé de l'intelligence artificielle
Caines, P.E. 28
Calcul parallèle 33, 140
Calvert, T.130
Campbell & Associates 88
Campbell, A. 88
Campbell, J. 38
Canadian Astronautics Ltd. 63
Canadian Electrolytic Zinc 7, 84
Canadien Pacifique 13, 159–160
CANMET
Voir Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie
CAO 11, 14, 33, 50, 130, 164, 170
CAO/FAO 33, 99
Capteurs 20, 26, 47, 51, 73, 98, 123
Capture des connaissances 15, 183
Carter, J. 128
Cartographie 33, 80, 82
topographique 7, 82
CCC
Voir Centre canadien de cartographie
CCRIT
Voir Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail
CCT
Voir Centre canadien de télédétection
Cecile, M. 119
Centrale nucléaire 13, 15, 55, 178
Centrale nucléaire de Point Lepreau 15, 178–179
Centre canadien de cartographie 7, 76, 80–82
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie 7, 76, 82–83
Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail 6, 40, 69–71
Centre canadien de télédétection 7, 40, 76, 180
Centre de maintenance mobile 5, 63
Centre de recherche de Xexox du Canada 43
Centre de recherche industrielle du Québec 8–9, 96
Centre de recherche informatique de Montréal 4, 33–35, 43–44, 156–157
Centre de recherches sur les communications 6, 72
Centre for Frontier Engineering Research 65, 100
Cercone, N. 49, 107, 130–131, 203, 205
CGC
Voir Commission géologique du Canada
Chang, E. 96, 101, 205
CHAT
Voir Technologie d'accès à l'hypertexte conversationnel
Chiu, D.K.Y. 116
Ciments Lafarge 7, 84
Cimstation 99
Clark, B. 114
Classification des images 78
Cleary, J. 114
CNRC
Voir Conseil national de recherches du Canada
Cognitique 4, 10, 27, 36, 38, 105, 122, 128, 203
Collaboration 9, 98
Collège de médecine vétérinaire de l'Ontario 118
Collin, A.E. 53, 205
Comité associé de l'intelligence artificielle 16, 106, 202, 204–206
Commande 45, 50–53
des procédés 4, 8, 11, 13, 34, 44, 83–84, 93, 99, 131–132, 155–156
Commission d'énergie du Nouveau-Brunswick 15, 43, 177–179
Commission géologique du Canada 7–8, 76, 86
Communauté économique européenne 27
Communications 6, 73, 150
dauphins 10, 120
informatiques 33
téléphoniques 9, 12, 99
Compagnie Marconi Canada Limitée 43–44

CompEngServ Ltd. 13, 161–162
Compréhension
  des images 19, 138
  du langage naturel 11–12, 101, 105, 128, 130–131, 203
  du mouvement 4, 129, 135
Compression de textes 10, 112
Computational Intelligence 10, 106, 202–203
Computer-Based Training Systems Ltd. 99
Concepteur de bases de données 131
Conception 7, 33, 50, 53, 93, 97–99, 109, 133, 142, 152, 157, 166–167
  d'autoroutes 9, 104
  à base de connaissances de systèmes d'informations 46
  de bases de données 93
  de plans de cours 9, 66, 99, 129, 148–149
  du système 12, 38, 45–46, 48–49, 128–129, 138
  technique 44, 163
Conception assistée par ordinateur
  Voir CAO
Connaissance 74, 133
  approfondie 33, 57
Connexionisme 132
Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick 8, 96
Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada 5, 59–60, 119, 126, 128
Conseil de recherches en sciences humaines du Canada 60
Conseil de recherches médicales 60
Conseil national de recherches 5, 8, 16, 42–43, 54, 56, 64, 90–95, 97, 102, 106, 126, 189, 202–206
Consortiums 3–4, 23, 40–44
Constance des couleurs 11, 132
Construction à base de connaissances 12
Construction de carte des connaissances 48
Contrôle
  de la circulation aérienne 13, 102–103, 155, 158
  de coïncidence 36, 49
  du lest 9
Cooke, J. 128–129
Coquille
  de système expert 15, 35, 73–74, 77, 84, 90, 114, 147–148, 178, 184
  tableau noir 65
  de télédétection 7, 77
CORES 13, 161
Correspondances 138
  de configurations 182
  formes 38, 45, 138
  images 37
Cours 34, 110, 122
CRIM
  Voir Centre de recherche informatique de Montréal
CRIQ
  Voir Centre de recherche industrielle du Québec
CRITTER 71
CRSNG
  Voir Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
Cynader, M.S. 29, 47

D&S Knowledge Systems Inc. 99
Dahl, V. 130–131, 203
Dalkir, K. 69
Danisch, L.A. 96
Dataspan Technologies Inc. 99
Davis, S. 130
De Mori, R. 35, 48, 155, 205
Deguise, J.-C. 88
DeHaan, J. 101
Delgrande, J. 131
Det norske Veritas 100
Détection 45
  défaillances 64
  du mouvement 12, 136
  signaux 7, 75
Développement
  de base de connaissances 70, 83, 147
  de prototype 10, 48, 82, 84, 92, 108, 112, 152–153, 159
  de système à base de connaissances 94, 125
  de systèmes experts 9, 12–13, 76, 85–86, 91, 104, 147, 163, 171
Diagnostic 6, 64–65, 68, 128
  défaillances 9, 13, 65, 97–98, 100, 155–156
  équipement 166
  médical 46, 133
  systèmes 166
Diagnostics 67, 86
DiCiccio, V. 39, 205
Digital Equipment Corporation 13, 163–165
Direction de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement 8, 86
Direction de la technologie avancée 6, 69–71
Discrimination
  configurations 139
  de consonnes 37
  fondée sur textures 11, 122, 139
Dispositif d'attention haptique de Queen's 38, 123
Dissémination des connaissances 4
Division de génie électrique 8, 64, 90, 94
Division of génie mécanique 92, 94
Données
  floues 39
  sur le combat et la situation 7
Driver, J. 175
Drouin, M. 71, 206
Druce, G. 174
Dubois, A. 58, 206
Dynacon Enterprises Limited 65, 93
Dynamique 50–52, 67, 74

EBCO Industries Limited 43
Echidna 133
École Polytechnique de Montréal 43
EDMAN 13, 161–162
Éducation 6, 11–12, 69, 89, 93, 105, 128, 148–149, 180
Effecteurs 26
Effluents dangereux 39
EGC
  Voir Environnement de génie des connaissances
Eiffel 90
Elio, R. 101
Ellis, R. 38, 122–123
ElMaraghy, H.A. 51
ElMaraghy, W.H. 51
EMIR
  Voir Système expert sur le brouillage électromagnétique
Emploi et Immigration Canada 110
EMR
  Voir Énergie, Mines et Ressources Canada
ENERGEX 169
Énergie atomique du Canada Limitée 43, 48
Énergie, Mines et Ressources Canada 6, 58, 76–89
Enregistrement des données 179

Environnement 78, 97, 181
  dangereux 14, 46, 48, 167
  de génie des connaissances 13, 84, 99, 153, 161, 180
  de traitement de l'étudiant 128
  hostile 45–56
  intelligent de dépannage en vol 13, 155–157
  maritime 13, 161
  de programmation 11, 105, 113, 128
Environnement Canada 57, 80, 97, 175, 180
Établissement aéronautique national 64
États-Unis 12, 15, 27, 88, 150, 152, 163, 166, 180
ETS 109
Étude de faisabilité 4, 6, 34, 41, 56, 58, 65, 70, 93, 100, 147, 155, 177
Étude sur les capacités canadiennes en IA 3, 189–201
Études de marché 12, 56, 148, 163–164
Europe 12, 150, 163, 185
Évaluation
  des contrats d'assurance 11
  des menaces et assignation des armes 7, 73
  des ressources minérales 8, 86
  des risques 15–16, 56, 94, 180
Évitement des collisions 6, 63–64, 66, 68, 103, 132
EXSEMBLE 169
Extraction
  de textes 165
  des caractéristiques 174–176
  du mouvement 136

Fabrication 163
  intégrée par ordinateur 99, 109
Facteurs humains 11, 47, 53, 65, 102, 128, 185
Falconbridge Limited 43
Farkas, J. 69
Farrett, P. 125
Ferihill Technologies Ltd. 80
FEX 174–176
Financement 3, 23, 28, 40, 42, 54–56, 59, 79, 106–107, 119, 126, 136
Finkelstein, A. 58
Finning Caterpillar 176
Fiskel, F. 56
Fonctions intelligentes de combat 73, 148
Fonds de la technologie du Conseil du Premier ministre de l'Ontario 4, 36
Fonds de recherche et développement en intelligence artificielle 5, 54–56, 58, 71, 79
Fong Lochovsky, A. 117
Forêts Canada 80
Formation 6, 11–12, 57, 69–70, 86, 94, 110, 128, 148, 157–158, 163, 166–167, 181
Fortran 76–77, 177–178
France 27
Fuchi, K. 203
Funt, B. 130, 132
Fusion de données 7, 73, 76, 89
  de détecteurs 45, 66, 99, 190

Gaines, B. 108, 110, 114
GALEN 133
Gamble, K. 175
Garrett, R. 88
GCG
  Voir Groupe des conseillers gouvernementaux
Généralisation 7, 80, 91
Génie 33–34, 150, 166, 170
  conception de circuits 12
  des connaissances 4, 10, 14, 33, 73, 85, 109–110, 128, 163, 180
  facteurs humains 185
  logiciel 12, 33–34, 85, 152
  des procédés 125
  systèmes informatiques 49
Géologie 46, 148
Géométrie de calcul 123, 130
George, P.G. 175–176, 205
Gershon, R. 135–136
Gestion
  de base de connaissances 36, 46, 49
  de bases de données 94, 152–153
  des connaissances 6, 69
  des déversements dangereux 9, 100
  des données 13, 49, 57, 65, 80, 93, 125
  de l'énergie 86
  des incertitudes 10–11, 112, 116–117, 123, 128–129, 133
  du système 15, 181
Glasgow, J. 122, 124
Gnu EMACS 114
Goldenberg, A.A. 51
GoldWorks 90, 99, 178
Goodale, M. 32, 38
Goodenough, D.G. 58, 80, 88, 206
Gouvernement 43, 59, 106, 150, 202
  Colombie-Britannique 80
  Ontario 180
Graham, D.P.W. 67
Graham, G. 165, 206
Grammaires logiques 133
Grande-Bretagne 12, 27, 150
Greer, J. 128–129
Griffith, A. 151, 206
Grosz, B. 203
Groupe des conseillers gouvernementaux 8, 89
Gupta, K. 132
Gurnsey, R. 38

H.A. Simons Limited 43
Hadley, R. 132
Hallett, P.E. 135, 137, 139
Han, J. 130
Harauz, G. 116
Hassner, D. 176
Hatch Associates Limited 43
Havens, W. 133
Hayes, K. 205
Hématologie 12, 148
Hewlett Packard Laboratories 97
Hill, E. 179, 206
Hinton, G.E. 4, 29, 37, 48, 135–136, 143
Hirst, G. 202
Hollerbach, J. 29, 53
Hughes, P.C. 52
Humphrey, G.K. 38
Hunt, W. 120
Hunter, D. 68
Hunter, I.W. 30, 50
Hydro-Ontario 43–44, 48, 155
Hydro-Québec 14, 43–44, 166–173
Hymarc Ltd. 66

IBM 97, 124
ICRA
  Voir Institut canadien de recherche avancée
IMP Group Limited 63
Inco Limited 43

Industrie 3, 12, 16, 42, 47, 53, 57, 59, 106, 145, 202, 204
  aérospatiale 12, 41, 50, 97, 99, 147
  agriculture 12, 52, 99, 147
  canadienne 4, 54–58, 93
  commande des procédés 34, 156
  construction 8, 52, 94, 97, 148
  divertissement 97
  électrique 166
  énergie 83
  énergie 41, 98, 155
  fabrication 19, 34, 45, 47, 51, 55–56, 93, 97, 99
  fabrication par procédés 163
  forêts 12, 50–52, 58, 147, 176
  hydroélectrique 4, 14–15, 33
  informatique 10
  métallurgie 34
  métaux 83
  minéraux 83, 148
  mines 8, 12, 41, 43, 50, 52, 57–58, 96, 147
  pétrole 9, 15, 41, 50, 98, 100, 164
  ressources 7, 45, 58, 78, 93, 99
  services 34, 45, 51, 55–56
  traitement 7, 41, 55–56, 83
  transports 9, 12, 45, 97, 99, 102, 148, 150, 161
Industrie, Science et Technologie Canada 5, 42, 54–56, 58, 78–79, 190
Inférences 117, 183, 185
Information Technology Research Centre 4, 27, 36–39, 126
Ingénieur cogniticien 14, 70, 147, 164, 171
Insight 2+ 161
Inspection
  automatisée 9
  industrielle 10, 36, 116
  maritime 103
  visuelle 96, 116
Institut canadien des recherches avancées 3–5, 10, 25–32, 40–41, 43, 106, 189
Institut de recherche aérospatiale 64
Institut de recherche en construction 8, 94, 97
Institut de recherche sur les matériaux industriels 94
Institut de robotique et d'intelligence des systèmes 5, 10, 25, 43, 45–53, 60, 106, 128–129
Institut de technologie de l'information 64, 90
Institut militaire et civil de médecine environnementale 64, 74
Intégration
  des données 11, 58, 78, 80, 133
  sensorielle 45, 47, 51, 99, 132–133
  du système 110
intelCAD 133
Intelligence artificielle au Canada 10, 20, 97, 106, 120, 189, 202
Intelligence machine 8–10, 98, 117
Intera-Kenting Technologies 80
Interface
  adaptative 48
  de base de connaissances 46
  conviviale 36
  de consultation 131
  DECwindows 77
  graphique 44, 46, 59, 157
  intelligente 33
  interactive 114
  langage naturel 8, 12, 46, 49, 91, 104, 131, 152–153
  opérateur–machine 33, 130
  opérateur–ordinateur 39, 74, 108, 113
  parole 6, 20, 46, 49, 72
  pour handicapés 111
  quasi-intelligente 74
  robotique 51
  texte 46, 49
  utilisateur 13, 46, 49, 65, 80, 93, 109, 111, 120, 150, 156, 161, 170, 184
  vocale 34
International Submarine Engineering Ltd. 66, 100
Interprétation des données 46, 98
Interprétation des images 47, 125, 138
Interrogation de bases de données 12–13, 34
IRIS
  Voir Institut de robotique et d'intelligence des systèmes
Isabelle, P. 58, 70
ISE Research Limited 65
ISIM 100
ISTC
  Voir Industrie, Science et Technologie Canada
ITEMS
  Voir Système interactif de gestion de l'environnement tactique
ITRC
  Voir Information Technology Research Centre

Jacobson, Z. 89, 206
Japon 12, 27, 151, 163, 166
Jenkin, M.R.M. 135–137
Jenkins, M. 124
Jennings, R. 133
Jepson, A.D. 32, 135–139
Johnson Matthey Electronics 131
Jones, J. 133
Jones, M. 128

Katz, L. 114
Kidd Creek Mines 7, 84
KITTEN 109, 112
Knowledge House Publishing Ltd. 93
KnowledgeCraft 99
Knowledgeworks Research Ltd. 93–94
Kolers, P. 135
Konkin, D. 175
Krause, M. 174–176
KSSO 109
Kurusek, A. 139
Kwan, H. 135–136, 142
Kwok, P. 114

Laboratoire des recherches avancées sur les systèmes tuteurs intelligents 11, 128
Laboratoire des systèmes intelligents 8, 90, 94
Laboratoires de recherche minière 7, 85
Laboratoires de recherche sur l'énergie 8, 86
Laboratoires de recherche sur le charbon 86
Laboratoires de la technologie des métaux 7, 85–86
Laboratoires des sciences minérales 7, 83
Lac Minerals Limited 43
Laguitton, D. 85
Lam, D. 57
LANDSAT 7, 14, 76, 174
Lane, A. 88
Langage assembleur 179
Langage de programmation 5, 10, 13, 50, 124–125, 161
Langage imbriqué interactif de rang 11, 65, 124–125
Laugesen, E. 182, 206
Lavalin 7, 84
Lawrence, P.D. 32, 52
Lederman, S. 32, 38, 46, 123–124
Lemire, A. 173, 206

Leung, J. 85
Levesque, H. 29
Levine, M.D. 29, 47
Lewis, R.T. 104, 206
Li, Z.-N. 133
Linguistique, informatique 11, 130, 133
LISP 13, 83, 90, 101, 114, 120, 143, 147, 152, 161, 175, 178, 184
Lockheed Software Technology Center 108
Logiciel 10, 12
Logique 171
  déductive 25
  floue 8, 11, 67, 96, 112, 129
  premier ordre 131
  probabiliste 10, 117
  symbolique 11, 25, 125
Lopez, A. 119
Lowe, D. 30
LSM
  Voir Laboratoires des sciences minérales
Lumb, C. 101

MacDonald, B. 114
MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. 14, 43, 63, 97, 101, 174–176
Mackworth, A.K. 29, 46, 138, 203
MacLean, S. 68, 206
MacMillan Bloedel Ltd. 15, 148, 176
MacNabb, G.M. 44, 205
Maintenance 97
  aéronefs 11, 124
  camions forestiers 15
  CF-18 9, 100
  commutateur téléphonique 12
  installations de câblage submersibles remorquées 66
  ligne de transmission 4
  lignes d'énergie électrique 34
  locomotives 102, 159
  maritime 150
  matériel électrique 33
  moteur à réaction 8, 92
  moteur diesel 13
  plate-forme de forage 65
  Réseau informatique de la Défense 73
  station spatiale 64
  système à base de connaissances 181
  système d'informations de grande taille 48
  système électromécanique 174
  véhicule 9
  voies de chemin de fer 13, 160
Manalta Coal Limited 43
Manipulateur adroit spécialisé 5, 63, 66
Manipulateurs 6, 26, 46, 52–53, 63–64, 66, 99, 123–124, 132
Manipulation des connaissances 25
Manipulation dynamique 11, 124
Manning, E.G. 176, 205
Manoliu, R. 164, 173, 205
Manufacturing Research Corporation of Ontario 124, 126
MAS
  Voir Manipulateur adroit spécialisé
Matériaux industriels 8, 55
Mathiel, R. 97
Mayman, S.A. 206
McCalla, G. 107, 128–129, 203, 205
McCarney Technologies 133
McLeish, M. 116–120
MDN
  Voir Ministère de la Défense nationale
Mécanismes d'inférence 46, 98, 117, 156, 182
Médecine 8, 12, 46, 147–148
  Voir aussi Biomédecine
  vétérinaire 10, 148
MEDRISK 57–58
MEDUSA 64
Mendelzon, A.O. 49
Mercer, R. 39
Métavision Inc. 91
Météorologie 4, 14, 34, 39, 174
Microlight Corporation 133
Microtel Pacific Research Limited 43
Milios, E. 135–136, 138
Ministère des Approvisionnements et Services 55
Ministère des Communications 6, 58, 69–72
Ministère de la Défense nationale 7, 57, 70, 73–75, 92, 97, 100
Ministère des Pêches et Océans 13, 151, 161
Modèles aérodynamiques 156
Modélisation 97–98, 108, 190
  base de connaissances 11, 125
  cerveau 74
  cognitive 11, 128, 132
  des connaissances 6, 69, 125
  données 34, 112
  dynamique 52
  formes 137
  mouvement de la main humaine 122
  neuronale 47
  parole 48
  processus de décision 157
  qualitative 97, 100
  réseau de règles 36
  des rivières 15, 177
  texte 110
Modi, V.J. 52
Moore, T. 123
Moraglia, G. 135–136, 142–143
Moteur de raisonnement pour système expert 133
Moulage par injection 164
MPB Technologies Inc. 43–44, 66, 93
MRCO
  Voir Manufacturing Research Corporation of Ontario
MSC
  Voir Centre de maintenance mobile
MSS
  Voir Système d'entretien mobile
Mulder, J. 205
Music 11, 122
Muzard, J. 69
Mylopoulos, J. 4, 29, 36, 48, 119, 135, 203

Navigation 46, 150
  robotique 43, 45, 48, 137
  systèmes aériens 9, 102
Neate, J. 57
Neufeld, E. 128–129
Neuropsychologie 12, 148
Nexpert 84, 90, 99, 109
Nial
  Voir Langage imbriqué interactif de rang
Nickerson, B. 83
Noranda Inc. 43–44, 93
Normes 170

Norrie, D. 114
Northern Telecom 12, 97, 100, 152

Oerlikon Aerospace Limited 43, 66
OITMIS 64
Opérations avec charge utile 5, 63–64
Opérations financières 16, 41, 148, 164–165, 181–183
Opérations maritimes 12, 150
Optech Inc. 66
Optimisation
  interrogation 36
  mathématique 13, 156
  numérique 33, 157
Oracle 81, 119
Organisation des connaissances 36
Organisation du système 10, 108, 112
Organismes provinciaux de recherche 9, 96–101
ORTECH International 43
Ortony, A. 203
Outil de raisonnement automatisé 90, 99, 120
Outils CASE 35, 129, 180

Panabode Corporation 133
Pang, G.K.H. 4, 36
Parasitologie 118
PARI
  Voir Programme d'aide à la recherche industrielle
Parole 4, 6, 8, 13, 19, 33–34, 37, 46, 48, 72, 74, 89, 105, 143, 155, 158–203
  Voir aussi Interface
Pascoe, P. 119
Patterson, B.K. 179, 206
Pays-Bas 27
Peacocke, R. 152, 205
Pelletier, J. 32
Perception 11, 25–26, 46–47, 122
  auditive 45
  calcul 5, 45–49, 55, 122
  couleur 130–132
  forme 38
  mouvement 38
  multidétecteur 47
  objet 123
  parole 48
  tactile 38, 45–46
  visuel 46
Perrault, R. 203
Phillips, D. 72, 206
Photo-interprétation 7, 19, 78–79, 106, 175
Picot, J. 58
PIKES 78
Planification 6, 50, 64–68, 100–101, 158, 164, 166, 189, 203
  affaires 4
  attribution des ressources 176
  basé sur contrainte 94
  budget 7, 74
  commandes 164
  cours de formation 70
  dynamique 11, 128
  emploi 93–94
  flotte 97
  hydrothermique 15, 177
  maintenance des chemins de fer 13
  du mouvement 11, 50, 130, 132
  opérationnelle 9, 93
  opérations 19, 204
  pipeline 164
  des procédés 8, 19, 92, 97, 100–101, 130
  production 94
  réparations 160
  tâches 50
  trajectoire 6, 64
  du trajet 8, 48, 50–52, 64, 66, 68, 94
  transports publics 103
  usine de fermentation 9, 99
  wagons de chemin de fer 13
PMDS
  Voir Programme de la microélectronique et du développement des systèmes
PMVT
  Voir Programme de mise en valeur de la technologie
Poiker, T. 130
Politique en personnel 16, 184
Politique sur la retraite 16, 183
Poplog 90
Popowich, F. 133
Posluns, H. 57
Poste de travail du traducteur 6, 70–71
Poursuite 46
  objets 4, 38
  tempêtes 4, 39
PPIMD
  Voir Programme de productivité de l'industrie du matériel de défense
Pratiques fiscales 15, 180
PRECARN
  Voir Réseau préconcurrentiel en recherche appliquée
Précipitation
  Voir Météorologie
Prédiction 13, 108
  défaillance 65, 85, 92
  défectuosité 15, 176
PREFORMA
  Voir Assistant météorologique de prédiction des précipitations
Préhension 51, 53, 123, 132
Présentation des données 65
Prévisions météorologiques 9, 14, 39, 57, 101, 138, 164, 174–175
Price Waterhouse 15, 80, 93, 180–181, 189
Principes d'organisation 47
Problèmes d'optimisation 74, 140
Procédures d'apprentissage 4, 37, 48, 142
Processus cognitif 132
Processus des connaissances 109
Production de base de connaissances 91
Production de texte bilingue 6
Production de textes 34
Programmation
  par l'exemple 10, 108, 111
  logique 10, 20, 46, 50, 108, 113, 124, 130–134, 203
  orientée objet 13, 98, 120
Programme d'aide à la recherche industrielle 4, 8, 42, 56, 90, 93
Programme d'aide au développement économique régional 6, 69
Programme de bourses en IA 14, 164
Programme de diversification de l'économie de l'Ouest 56
Programme de la microélectronique et du développement des systèmes 5, 55
Programme de mise en valeur de la technologie 5, 56
Programme de productivité de l'industrie du matériel de défense 5
Programme RAI 3, 27

Programme des technologies stratégiques en automatisation et robotique 5, 63, 93, 97, 100, 125–126, 148
Programme des technologies stratégiques 5, 42, 55
Programmes de soutien du gouvernement 4, 54–58
Prolog 15, 50, 71, 76–77, 88, 90, 113–114, 131, 153, 175, 177, 184
Protocoles de communication 36
PTS
Voir Programme des technologies stratégiques
Pylyshyn, Z. 4, 28, 38–39, 203, 205
Q'HAND
Voir Dispositif d'attention haptique de Queen's
Q'Nial 119
Voir aussi Langage imbriqué interactif de rang
QUARTZ 69

Rach, C. 96
Radar 7, 74, 104
météorologique 4, 39
synthèse d'ouverture 14, 73, 174
Radiocarottage 11, 99, 124
Radiologie 118
RAISON/AI 57
Raisonnement 26, 28, 34, 46, 49, 100, 130, 133, 204
automatisé 49
bon sens 50, 70, 129
fondé sur contraintes 97
fondé sur cas 67, 98
fondé sur hypothèses 189
heuristique 57
implicite 119
métaphorique 120
non monotone 10, 118
probabiliste 11, 128
procédural 6, 63
qualitatif 11, 13, 33, 128, 156–157
à syllogisme 25
temporel 97, 101, 175
RBN
Voir Recherches Bell-Northern
Réception des images 14, 174
Recherche
sur les bases de données 4
en collaboration 3, 8, 15, 23, 33, 43, 56, 64, 69, 80, 90–91, 94, 96–97, 100–102, 125, 129, 133, 164, 176, 185, 204
interdisciplinaire 10–11, 15, 26–27, 38, 59–60, 70, 99, 108, 116, 125, 129–130, 135, 172
sur les langages naturels 34, 36, 72, 134, 150–152, 182
Recherches Bell-Northern 12, 43, 152–154
Reconnaissance 204
caractères 9, 96, 100
des configurations 10, 74, 98, 116, 143, 165, 174
fondé sur granularité 128
formes 4, 11, 34, 129, 143
images 164
objets 7, 36, 38, 46, 73, 122–123, 140
parole 4, 6, 8, 13, 20, 33–34, 37, 72, 89, 130, 155, 158
phonème 89
signaux 7, 89
surfaces 38
tactile 11
voix 9, 19, 103–104, 158
Recuit simulé 75
Regan, D.M. 135–136, 143
Règlements fiscaux 15, 183
Reimer, W. 185, 206
Reiter, R. 29, 49, 135–136, 138, 203
Relevés 8, 12, 88–89, 148, 150, 156, 158, 189–201
Rendell, L. 203
Réparations
lignes de transmission 4
matériel électrique 33
moteur diesel 13
voies de chemin de fer 160
Répartition des véhicules 12, 102, 150
Représentation 101, 139
des connaissances 11, 20, 25–26, 28, 36, 46, 49, 70, 98, 105, 120, 128–133, 152, 156, 171, 203
des données 11, 179
formes 136
des images 12, 136
de l'incertitude 112
logique 138
du mouvement 37
objets 7, 36, 45, 80
Reprise en cas d'erreur 36, 112
Réseau
causal 33
6–9, 12–13, 37, 48, 52, 63, 67, 72, 74, 87–89, 96, 102–104, 113, 132, 142, 150–151, 161, 165
parallèle 37, 142
Réseau préconcurrentiel en recherche appliquée 4–5, 13, 27, 40–46, 60, 93, 97, 119, 155, 179, 185, 189
Réseaux du programme de centres d'excellence 5, 27, 43, 45, 49, 60, 106, 119, 128–129
RESHELL
Voir Coquille de télédétection
Résolution des conflits 87
Ressources Pétro-Canada 43
Retombées sociales 10, 40, 45, 94, 106, 108, 166, 182
Réunions 27, 106
Réutilisation du logiciel 48
Richardson, D.E. 81, 88
Robotics Systems International Ltd. 66
Robotique 3–6, 8–9, 11, 13, 26–28, 40–41, 43, 45–48, 50–52, 74, 96–99, 105–106, 122–123, 161, 179, 190
autonome 6, 66
fondée sur capteurs 8, 90
téléopération 6, 66
Robots 6, 10–11, 19, 26, 50–51, 110, 123, 132, 138, 204
adroits 51
au sol 52–53
autonomes 42–43, 47
distribution de médicaments 110
haute performance 50
intelligents 5, 34, 43, 45–46, 50–53, 122, 132
mobiles 43
Roesler, R. 176
Rosenberg, R. 176
Rosenschein, S.J. 31
Royaume-Uni 12, 15, 152, 166, 180

SAGE 170
Sandwall, E. 203
Santé et Bien-Être Canada 56
Saskatchewan Research Council 96
Satellites d'observation de la Terre 14, 174
Sauder, B. 176
SCEIO
Voir Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur
SCENT
Voir Environnement de traitement de l'étudiant
Schémas de circuit 11, 125

Scheme 114
Schubert, L. 31, 32, 203
Schwab, D. 176
Science informatique 19, 26, 34, 105, 204
Scrimgeour, J. 205
Sécurité 148
  aérienne 9, 102
  barrages en terre 14, 169
  chemins de fer 13, 102, 159
  dispositifs médicaux 56–57
  immeubles 86
  mines 85
SED Systems Inc. 63, 97
SEDA 168
Segmentation 11, 38, 78, 128, 136, 138
  des images 11, 38, 122
Ségrégation 139
Seidenberg, M. 31
Sekely, G.F. 205
Séminaires 8, 15, 34, 60, 89, 97, 102–104, 135, 180
Sensor Adaptive Machines Inc. 66
SEPIDE 167
Service de l'environnement atmosphérique du Canada 101
Services de consultant en systèmes experts 163, 181
Shaw, M. 114
Shell Canada 15, 43, 155, 183–185
SHERI
  Voir Système d'experts hiérarchiques pour l'inventaire des ressources
Siekierska, E.M. 82
Simulateur de vol 4, 143, 156
Simulation 13, 50–51, 67, 83, 89, 94, 97–100, 139, 155–156, 167, 190
  aérodynamique 13, 156
  aérotrain 94
  contrôle de la circulation aérienne 155, 157
  énergie 86
  équipe de travail 160
  guerre naval 8
  mission tactique 13, 157
  répartie 113
  vol 34
Sloman, A. 203
Smalltalk 81, 90, 113
Smartcam 99
Smith, B.J. 149, 205
Société canadienne pour l'étude de l'intelligence par ordinateur 10, 97, 106, 202–203
Softwords, Division de Press Porcepic 65, 93
Soins de santé 50, 99, 180–181
Sonar 8, 73, 75, 89
Sorenson, P. 129
Soudure 8, 94
Spar Aérospatiale Limitée 43–44, 63–64
Spécialiste en information 6, 69, 185
Spectrum Engineering Corporation Limited 65, 93, 125
SPGAP
  Voir Système de pointe de gestion et d'analyse des procédés
SPOT 14, 78, 174
Sridharan, N.S. 203
SSRMS
  Voir Système du télémanipulateur de la station spatiale
Stabler, E. 32
STAR 174, 176
Station spatiale 5, 8, 53, 63–65, 100, 174
Statistiques Canada 6, 71
Stein, R.B. 31
STELCO Inc. 43
Stepanenko, Y. 50
Stirtzinger, T. 119
Structures de commande 26
  par tableau noir 128
SUBAREX 168
Substitution de données 7
Suède 27
Surgenor, B. 124–125
Surveillance
  santé des machines 92
  santé des systèmes 64
  temps réel 44
SWIFT
  Voir Terminal intelligent pour la prédiction des alertes météorologiques
Swinkels, F. 176
Synthèse des connaissances 36
Synthèse de la voix 19
Système d'aide 129
Système autonome 19, 26, 64, 112, 204
Système biologique 137
Système de commande 49, 99, 102, 158
Système de conception 94
Système de distribution 15
Système de distribution de l'énergie électrique 177
Système d'entretien mobile 5, 11, 53, 63–66, 68, 100, 125, 148, 176
Système expert sur le brouillage électromagnétique 13, 161
Système d'experts hiérarchiques pour l'inventaire des ressources 7, 58, 78, 80
Système à événements discrets 4, 36
Système fondé sur règles 13, 15, 101, 104, 128, 159, 161, 179
Système d'informations 15, 46, 48, 59, 128, 152, 181
  en orbite 64
  fabrication 36
  géographiques 58, 86
  grande échelle 129
  médicales 118
  pour cadres 181
Système interactif de gestion de l'environnement tactique 13, 155, 158
Système à langage naturel 11, 119
Système de planification 5, 13, 63, 65, 88, 94, 99, 161
Système de pointe de gestion et d'analyse des procédés 13, 155–156
Système de répartition des trains 13, 159
Système de soutien à la décision 13, 57, 74, 94, 108, 151
Système du télémanipulateur de la station spatiale 5, 63
Systèmes d'apprentissage 9, 11, 93, 98, 113, 130
Systèmes à base de connaissances 5, 7–11, 13–14, 19, 33–34, 45, 48, 90, 106, 108, 123–124, 156, 174, 180
  assistant de répartition des véhicules 150
  bureau 69
  centrale nucléaire 15, 178
  commande floue des égouts et du système 124
  compagnie d'électricité 156
  contrôle des moteurs 92
  dépréciation 125
  diagnostic des défaillances 92, 176
  distribution des médicaments 10, 110
  évaluation des contrats 150
  évaluation des contrats d'assurance 124
  extraction des images 14, 175
  génie des procédés 125
  impôts 180
  maintenance des aéronefs 124

mines 85
prédiction des défaillances 15
prévisions météorologiques 174
prise de décision 13
radiocarottage 124
reconnaissance de caractères 100
soutien au sol 7
sports 10, 109
système de commande thermique 125
tests automatiques du logiciel 124
transport urbain 150
tuteur aux échecs 128
tuteurs 149
Voir aussi Systèmes conseillers, Applications, Systèmes experts
Systèmes conseillers
analyse des données LANDSAT 7, 77
applications générales 94
cartographie 81
cartographie statistique 7
cémentage des puits 184
entretien 6, 13, 94
évaluation d'installations de traitement des effluents d'usines de traitement de l'or 57
évaluation des demandes de crédit 16, 184
forage pneumatique 184
intelligent 8, 93
maintenance du système 184
mines 8, 96
opérateur des procédés 184
opérations de la flotte 151
ordonnancement des wagons 13
planification de levés géotechniques 88
prévisions météorologiques 34
récupération après défaillance de disques 159
toxicologie 184
traitement en chimiothérapie 15, 180
Voir aussi Applications, systèmes à base de connaissances
Systèmes de diagnostic 133
contrôles vétérinaires 148
défaillances 67, 100, 159, 176
locomotives 159
matériel électrique 33
médical 8, 10, 94, 116, 118, 133
moteurs d'automobile 133
moteurs à réaction 8, 92
sécurité des barrages en terre 14, 168
surveillance des barrages 33
systèmes d'alimentation électrique 65
transformateurs 14, 168
transports 102
Systèmes experts 11, 13–15, 19, 33, 45, 63, 65, 76–77, 96–97, 106, 108, 125, 130, 147, 152, 161, 163, 180, 182, 204
à base de règles 11, 101, 128, 179
acquisition des connaissances 6
amélioration de la protection contre le brouillage électromagnétique 94
analyse des données LANDSAT 76
analyse du marché 148
analyse radiocarottage 9, 99
analyse de toxicité 8, 89
analyste de lubrifiants 159
application de l'analyse par point de contrôle des dangers 180
assistant en CAO 164
assistant d'implantation d'un laminoir à froid 164
brouillage électromagnétique 13, 161
broyage par clinker 7, 84
capture des connaissances 15, 182–183
centrale nucléaire 15
circulation aérienne 13, 103, 161
commande des procédés 4, 7–8, 44, 76, 84, 93, 131
compagnies d'électricité 15, 33, 164–165, 177
conception de la cavité de moulage 8
conception de gros immeubles à efficacité énergétique 86
conception des intersections sur les autoroutes 99
conception de systèmes de transmission 167
conception d'usines 57
Conseiller analyste 77
conseiller en cartographie statistique 81
conseiller en cémentage des puits 184
conseiller sur le forage pneumatique 184
conseiller d'intervention en cas d'urgence 74
conseiller sur la maintenance du système 184
conseiller de l'opérateur des procédés 184
conseiller en toxicologie 184
contrats de souscription 164
CORES 13
détection et classification des navires 7, 73
diagnostic 34, 86, 168
diagnostic des défaillance 67
diagnostic de défaillances radio 13, 159
diagnostic du matériel 168
éducation et formation 6
élimination du brouillage entre systèmes radio 103
emplacement des autoroutes 104
en ligne 83
ENERGEX 169
évaluation du charbon 8, 86
évaluation des menaces et assignation de l'armement 37
évaluation de propositions 6, 69, 180
évaluation des ressources hydrologiques 39
évitement des collisions 6, 63–64
expérience dans la forêt boréale 79
exploitation des fours 8
exploitation d'usines 83
EXSEMBLE 169
fabrication intégrée par ordinateur 109
formation 79
fusion de l'information 7, 73
gestion automatisée des données 125
gestion des connaissances 6
gestion des déversements dangereux 100, 103
gestion des données 79
gestion des échanges d'énergie 170
gestion de l'énergie 8
gestion des immeubles 8
gestion de l'information 6, 69
gestion de l'inventaire 164
gestion du savoir-faire 69
gestion d'usines de traitement du zinc 7
hématologie 148
hiérarchique 7, 77
hors ligne 84
immobilisations 74
industrie du pétrole 15
inspection maritime 103
interface utilisateur 184
interprétation des événements 167
interprétation des tests de puits 100
inventaire forestier 58, 77–78
maintenance du CF-18 100
maintenance de moteurs diesel 13, 159
maintenance de moteurs de locomotives 102
médical 15, 34, 38, 93, 118, 180

MEDRISK 56–57
modélisation des connaissances 6
modélisation des données 34
neuropsychologie 148
paie et avantages sociaux 6, 70
PIKES 78
planification de la distribution du métal en fusion 164
planification des opérations 65
planification en personnel 93
planification des pipelines de produits pétroliers 164
planification des procédés 100
politique sur le personnel 15, 183
pour la conception 46
prévisions météorologiques 14, 39, 57, 101, 104, 164
production de données de test 178
production des plans de postes de distribution 169
production de règles 168
psychologie scolaire 148
QUARTZ 69
RAISON/AI 57
rapport de cas 58
récupération des fines de charbon 8, 86
règle de production 8, 86
règlements sur les royautés 15, 183
résolution des conflits 161
SAGE 170
SEDA 168
sélection d'alliages métalliques 7–8
sélection 15
SEPIDE 167
SHERI 7, 77–78
simulation énergétique améliorée pour les petits immeubles 86
soudage par résistance 8, 94
soutien du bureau de dépannage 15, 180, 184
sports 109
SUBAREX 168
surveillance des barrages 168
surveillance de l'état de centrales d'énergie 179
surveillance environnementale 79
SWIFT 101, 104
système de planification 67
technologie des fonderies 8, 85
temps réel 44, 92
traitement des alarmes 164, 168, 172
traitement des minéraux 7, 83
TRANSEPT 157
transports 9, 103, 150
Voir aussi Applications, Systèmes conseillers
Systèmes de fabrication 59, 99
surveillance 91
Systèmes de surveillance 98
alimentation 168
environnementale 78
état des systèmes 179
procédures d'intervention en cas d'urgence 178
système de contrôle du lest 100
Systèmes tableau noir 33
Systèmes de vision 6, 13, 46, 64, 66, 68, 136, 140, 161
actifs 37
industriels 10, 116
robotiques 11
spatiaux 6
Systèmes XA Inc. 93

Tatton, W.G. 31
Taylor, V.K. 75, 206
Technologie d'accès à l'hypertexte conversationnel 72, 159
Technologie
des bases de données 90
de l'information 36, 49, 55, 94, 180
vocale interactive 12
Télécommunications 6, 12, 34, 41, 69, 98, 152, 163
Télédétection 7, 14, 45, 58, 76–77, 174–175
Téléopération 52–53, 123
Téléprésence Research Ltd. 66
Télérobotiques 4, 26, 39, 43, 45–47, 50
Terminal intelligent pour la prédiction des alertes météorologiques 101, 104, 175
Terzopoulos, D. 30
Tests
de systèmes experts 4, 33–34, 152
du logiciel 11, 124
TeX 114
Texte en langage naturel 58
Théorème de Bayes 11, 87, 113, 120, 129
Théorie
de commande 26
de Dempster-Shafer 10–11, 73, 87, 117, 119, 129
des forme 138
des systèmes 10, 108, 112
Thomas, G. 205
Thomson CSF Systems Canada Ltd. 66
Toxicologie 16, 184
Traduction
assistée par ordinateur 58, 70–71
automatique 11, 131
en langage naturel 70
langage 131
machine 6, 20, 70, 130, 204
Traitement
chromatique 12, 137
des données 7, 14, 73, 78, 174, 182
des images 7, 10–11, 14, 47, 74, 77, 116, 128–129, 152, 174–175, 180
de langage naturel 20, 71, 152, 204
des minéraux 7, 41, 83
parallèle 4, 38, 52
de la parole 152
sensoriel 47
des signaux 99
en temps réel 8, 11, 15, 51, 64–67, 92, 131, 151, 155–156, 161, 167–169, 177
de textes 151
TransAlta Utilities Corporation 43
TransCanada Pipelines 43
TRANSEPT 167
Transfert de technologie 50, 56, 60, 97, 102, 155
Transports Canada 9, 57, 102–104, 150, 158, 161
Treisman, A. 32
Tremblay, P. 128–129
TSAR
Voir Programme des technologies stratégiques en automatisation et robotique
Tsotsos, J.K. 4, 30, 36, 48, 135–137, 139–142, 203
Tuteur intelligent 74, 93, 103–104
Tutoriels 89

U.S. Office of Naval Research 126
Université de l'Alberta 3, 105
Université Athabasca 105
Université de Calgary 10, 98, 105, 108–115
Université Carleton 93, 105
Université de la Colombie-Britannique 3, 27, 43–44, 105–106, 138, 176

Université Dalhousie 27, 106
Université de Guelph 10, 105, 116–121
Université Laval 93, 105
Université de Leeds 93
Université du Manitoba 105
Université McGill 3, 28, 43–44, 47, 60, 105–106, 129, 155–157
Université McMaster 51, 93
Université Memorial 105
Université de Montréal 70, 105
Université du Nouveau-Brunswick 15, 44, 82, 93, 179
Université d'Ottawa 44, 80, 93, 106
Université du Québec 105
Université Queen's 3–4, 10, 36, 38, 44, 51, 105, 122–127
Université de Regina 105
Université de la Saskatchewan 11, 98, 105, 128–129
Université Simon Fraser 11, 44, 105–106, 130–134, 176
Université de Toronto 3–4, 11, 28, 36–37, 43–44, 51, 80, 105–106, 125, 135–143, 155, 202
Université Trent 105
Université de Victoria 148, 176
Université de Waterloo 4, 36, 44, 64, 93, 105–106, 125
Université Western Ontario 3–4, 28, 36, 38–39, 51, 105
Université York 11, 28, 43, 135

Vadeko International Inc. 66
Validation 67
  des données 7, 85
  des systèmes experts 4, 33–34
vanEnden, M.H. 50
Véhicule autonome 8, 94, 151
Vérification 34, 156
  financière 15, 181
Vickers, J. 114
Virtek Ltd. 66
Vision 11, 28, 98, 132
  active 45, 48
  attentive 143
  biologique 4, 11, 36, 47, 135–136
  de calcul 4, 11, 36–38, 45, 73, 105–106, 130, 133, 135–143, 203
  fondée sur modèle 140
  humaine 34–35, 129
  informatique 7, 39, 47, 74, 76, 78, 116, 125, 128–129, 137, 141
  machine 9, 19, 36, 39, 63–64, 96, 116, 132
  pré-attentive 143
  robotique 48, 133
  stéréoscopique 74, 123
  systèmes autonomes 19
VOLS
  Voir **Environnement intelligent de dépannage en vol**

W.G. Hutchison & Company Limited 43
Walden, J. 203
Webber, B.L. 203
Wilkins, D. 203
Winne, P. 130
Witten, I. 108, 116
Wong, A. 4, 36
Wonham, W.M. 4, 36
Woodham, R. 30, 203

Yang, H. 128–129
Yao, P. 119
Yee, B. 175

Zaky, S. 142
Zames, G. 30
Zelek, J. 175
Zucker, S. 47